

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Тепловые электрические станции
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ Е.А. Бойко
подпись инициалы, фамилия

« _____ »2018г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Проект реконструкции Березовской ГРЭС

тема

Руководитель

профессор, д.т.н.
должность, ученая степень

_____ подпись, дата

Е.А. Бойко
инициалы, фамилия

Выпускник

_____ подпись, дата

А.М. Клишин
инициалы, фамилия

Тех. контроль

_____ подпись, дата

С.А. Михайленко
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

_____ подпись, дата

П.В. Шишмарев
инициалы, фамилия

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Тепловые электрические станции

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

<hr/>	<hr/>
Подпись	Е.А. Бойко инициалы, фамилия

« »2018г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
по форме бакалаврской работы

Студенту	Клишину Алексею Михайловичу		
	фамилия, имя, отчество		
Группы	ФЭ14–02Б	Направление (специальность)	13.03.01
	номер группы		код
Теплоэнергетика и теплотехника			
	наименование		
Тема выпускной квалификационной работы		Проект реконструкции Березовской ГРЭС	
Утверждена приказом по университету № 3943/с от 19 марта 2018 г			
Руководитель ВКР	Е.А. Бойко, профессор, д.т.н., кафедра ТЭС		
	инициалы, фамилия, должность, учёная степень и место работы		
Исходные данные для ВКР Объект реконструкции котлоагрегат П-67 филиала Березовской ГРЭС ПАО «Юнипро»;			
Перечень разделов ВКР Актуальность реконструкции котлоагрегата П-67 котельной. Предлагаемые технические решения. Выбор варианта реконструкции. Проработка варианта реконструкции. Экономическая часть проекта.			
Перечень графического материала			
Лист 1. Продольный разрез котла Березовской ГРЭС			
Лист 2. Поперечный разрез котла Березовской ГРЭС			
Лист 3. Продольный разрез котла Березовской ГРЭС после реконструкции			
Лист 4. Схема измерений для определения коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева для котла Березовской ГРЭС.			

Руководитель ВКР		Е.А. Бойко
	подпись	инициалы и фамилия
Задания принял к исполнению		А.М. Клишин
	подпись	инициалы и фамилия

« _____ » _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа по теме «Проект реконструкции Березовской ГРЭС»

Текст 106 с., 28 рис., 50 табл., 10 источников

Ключевые слова: ШИРМА, ШЛАКОВАНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ, КОТЛОАГРЕГАТ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ, УХОДЯЩИЕ ГАЗЫ.

Объектом дипломного проекта является блок 800 МВт, с котлом П-67 и турбиной К-800-240-5:

Цель работы – решить проблему шлакования котлоагрегата; с применением реконструкции ширмовых пароперегревателей и новой оценке шлакования поверхностей нагрева.

В процессе работы проводился конструкторский расчет прямоточного котельного агрегата Т-образной компоновки, расчет вариантов реконструкции котлоагрегата, анализ вариантов реконструкции, аэродинамический расчет котлоагрегата; гидравлический расчет котлоагрегата; расчет вредных выбросов в окружающую среду.

В результате расчета был найден эффективный вариант реконструкции.

Эффективностью данного варианта является повышение коэффициента использования размещенных в области поворота газов ширм.

Проект проводился расчетным путем с использованием ЭВМ.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Обоснование реконструкции	6
2 Тепловой расчет котлоагрегата до реконструкции	9
2.1 Исходные данные для расчета.....	9
2.2 Коэффициент избытка воздуха в газовом тракте котла	10
2.3 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания.....	11
2.4 Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	12
2.5 Определение расхода топлива.....	14
2.6 Поверочный расчет котла до реконструкции	16
2.7 Расчет водяного экономайзера.....	16
2.8 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков КВП	18
2.9 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков КПП	19
2.10 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков ПК	21
2.11 Расчет нижней радиационной части.....	22
2.12 Точки смешения после нижней радиационной части.....	25
2.13 Расчет средней радиационной части	26
2.14 Расчет верхней радиационной части	28
2.15 Расчет первой ширмы.....	30
2.16 Расчет второй ширмы.....	31
2.17 Расчет третьей ширмы.....	33
2.18 Впрыск после третьей ширмы.....	34
2.19 Расчет первичного конвективного пароперегревателя.....	35
2.20 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя.....	37
2.21 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя.....	38
3 Расчет вариантов реконструкции	40
3.1 Расчет первого варианта реконструкции	40
3.2 Расчет второй ширмы.....	41
3.3 Расчет первой ширмы.....	42
3.4 Расчет третьей ширмы.....	44
3.5 Впрыск после третьей ширмы.....	45
3.6 Расчет первичного конвективного пароперегревателя.....	46
3.7 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя.....	48
3.8 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя.....	49
3.9 Расчет второго варианта реконструкции.....	51
3.10 Расчет первой ширмы.....	51
3.11 Расчет второй ширмы.....	53
3.12 Расчет третьей ширмы.....	54
3.13 Впрыск после третьей ширмы.....	56
3.14 Расчет первичного конвективного пароперегревателя.....	56
3.15 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя.....	58

3.16 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя.....	59
3.17 Расчет третьего варианта реконструкции	61
3.18 Расчет второй ширмы.....	61
3.19 Расчет первой ширмы.....	63
3.20 Расчет третьей ширмы.....	64
3.21 Впрыск после третьей ширмы.....	66
3.22 Расчет первичного конвективного пароперегревателя.....	66
3.23 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя.....	68
3.24 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя.....	69
4 Аэродинамический расчет котельного агрегата	71
4.1 Расчет газового тракта	71
4.2 Проверка типоразмера дымососа.....	78
4.3 Расчет воздушного тракта.....	79
5 Гидравлический расчет.....	88
5.1 Гидравлический расчет заводской ШПП-2.....	88
5.2 Гидравлический расчет проектной ШПП-2L	89
6 Обдувочные аппараты	90
7 Система технической диагностики шлакования поверхностей нагрева	93
8 Экономический расчет.....	95
8.1 Экономия топлива в результате мероприятий по уменьшению шлакования котла.....	95
8.2 Расчет капитальных вложений.....	97
8.3 Расчет доходов от реализации проекта	98
Заключение	101
Список использованных источников	103

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1234-р от 28.08.2003 г., твердое органическое топливо является основным источником для производства энергии на длительную перспективу, поэтому проблема повышения эффективности его использования и экономного расходования является актуальной.

Вопросы шлакования и загрязнения поверхностей нагрева паровых котлов сохраняют свою актуальность, несмотря на многочисленные исследования, а также большой опыт эксплуатации котельного оборудования при сжигании различных углей. Основные проблемы характеризуются большим экономическим ущербом, связанным с образованием отложений из-за несовершенства конструкций котлов, методов их расчета и контроля. К числу новых задач относятся: разработка систем технической диагностики шлакования; разработка современных обдувочных аппаратов; необходимость управления системами комплексной очистки поверхностей нагрева.

Статистический анализ видов и причин отказов паровых котлов при сжигании твердых органических топлив показывает, что одной из основных причин аварийных остановов котельных агрегатов является низкая надежность работы полурадационных и конвективных поверхностей нагрева, вследствие интенсивного шлакования и загрязнения с ростом температур по газовому тракту котлов. В первую очередь это вызвано особенностями компоновки и жесткими температурными условиями работы поверхностей нагрева. Причиной большого числа повреждений поверхностей нагрева, по вине шлакования является отсутствие информации у эксплуатационного персонала о степени шлакования или загрязнения каждой из поверхностей нагрева на текущий момент. В настоящее время эксплуатационный персонал судит об интенсивности шлакования и

загрязнения поверхностей нагрева только по косвенным показателям, анализируя показания штатного контроля. В связи с этим существенно возрастает роль научно-обоснованного подхода при выполнении проектных расчетов, наладке и технической диагностике эксплуатационных режимов полурadiaционных и конвективных поверхностей нагрева паровых котлов.

Одним из определяющих факторов эффективного проектирования современных энергетических котельных агрегатов является нахождение рациональных конструктивных характеристик и компоновочных решений поверхностей нагрева, обеспечивающих высокий уровень их тепловой эффективности при работе средств очистки и надежность эксплуатации.

В настоящее время для оценки тепловосприятия поверхностей нагрева котельных агрегатов при решении проектных задач используется коэффициент тепловой эффективности, обобщенный по результатам стендовых и промышленных тепловых испытаний котельных агрегатов, рекомендации по выбору которого представлены в нормативном методе «Тепловой расчет котлов» (НТР). Однако, как показывает опыт эксплуатации, значения коэффициентов тепловой эффективности, полученные на действующих котельных агрегатах, значительно отличаются от рекомендованных нормативных значений, что как следствие приводит к повышению проектных рисков и ограничению номинальной паропроизводительности котлов вследствие превышения температур металла труб поверхностей нагрева.

1 Обоснование реконструкции

Опыт эксплуатации котлов П-67 Березовской ГРЭС показывает, что вследствие интенсивного шлакования и загрязнения полурадационных поверхностей нагрева наблюдаются систематические разверки температур по отдельным нерегулируемым подпотокам ШПП-2, достигающие до 25–30 °С, а иногда и выше. Эти поверхности работают в режимах близких к предельным, возникающие разверки приводят к отклонению температур пара в разверженных подпотоках больше допустимых величин. Одной из причин повышенного интенсивного шлакования вертикальных ширм ШПП-2, размещенных над топкой котла П-67 в области поворота потока дымовых газов, является «косое» обтекание этих ширм потоком газов. Кроме того, поворачиваемый поток газов не омывает равномерно всю поверхность ширм, частично перетекает помимо нее – все это приводит к уменьшению тепловосприятия ширм и снижению коэффициента использования размещенных в области поворота газов ширм до значений $\xi = 0,6–0,85$.

Первое предложение выполнить изменение конструкции ширм над топкой в L-образные ширмы с увеличенной поверхностью за счет горизонтального участка. Преобразования проектных ширм ШПП-2 в ширмы L-образного типа ШПП-2L с сохранением существующей схемы трубопроводов и при расположении каждой ступени ширм по всему сечению газохода. При этом ширина ленты ширмы увеличивается в 2 раза, и между лентами в горизонтальной части выполняется «проем» ~ 1000 мм для размещения глубоководных аппаратов обдувки. Согласно расчетам, замена ширм на выходе из топки котла П-67 эффективными петлевыми L-образными ширмами позволит без изменения самих газоходов снизить температуру газов перед КПП – $\vartheta'_{\text{КПП}}$ на 30–50 °С. При этом поверхность нагрева петлевых L-образных ширм на выходе из топки соответственно в 1,5–1,7 раз больше поверхности заменяемых проектных ширм.

Эффективность предлагаемых технических решений подтверждена результатами теплогидравлических расчетов котла П-67 (нагрузка 100%) всех указанных выше вариантов L-образных ширм над топкой.

Второе предложение выполнить первый пакет ширм холодным. Это приведет к уменьшению температуры первичного слоя отложений, что повлияет на сохранение липкой пленки и размягченное состояние, вследствие чего затрудняется образование быстрорастущих вторичных отложений.

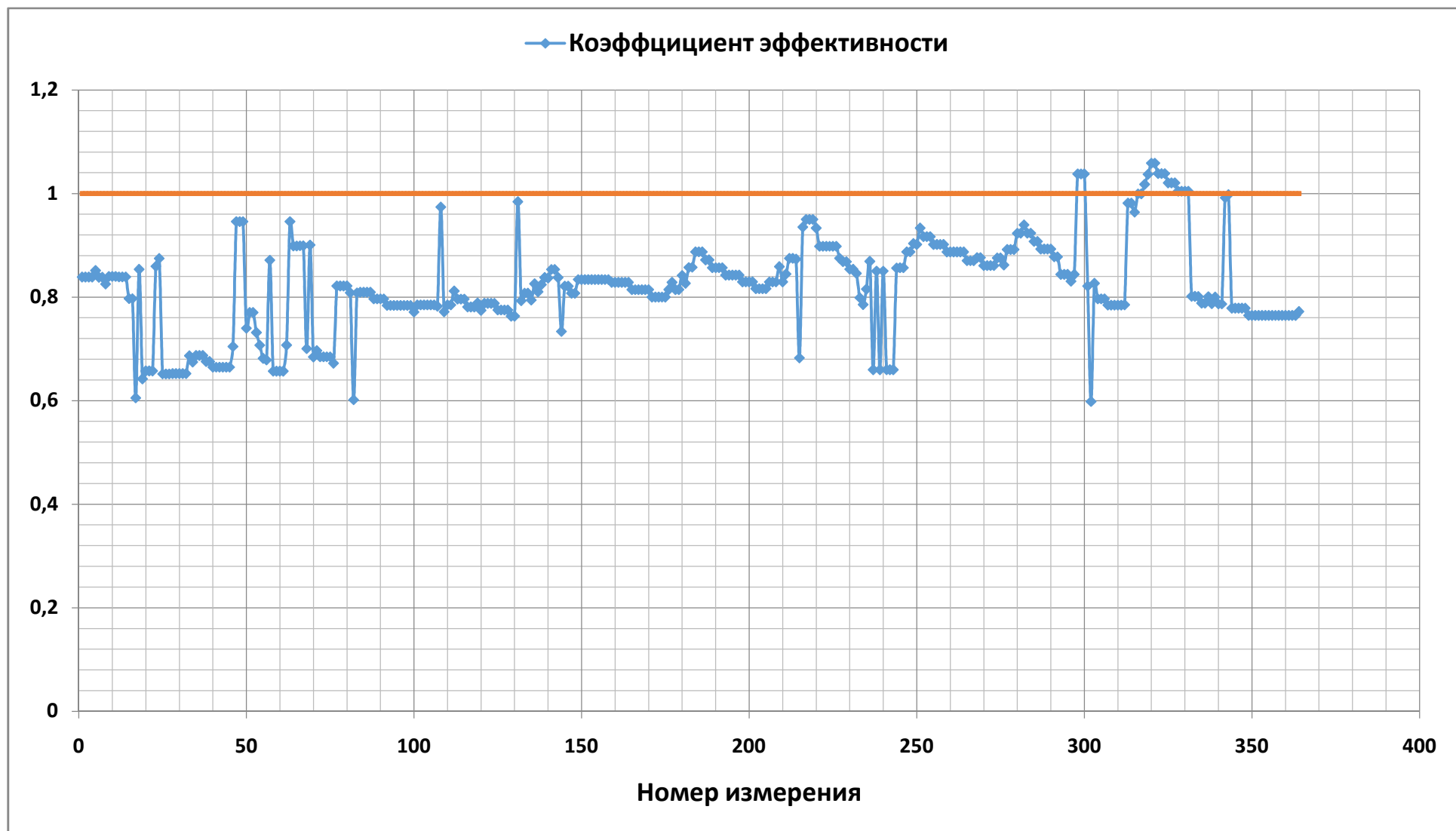


Рисунок 1 – Кoeffициент эффективности ШПП-2

2 Тепловой расчет котлоагрегата до реконструкции

2.1 Исходные данные для расчета

Бакалаврская работа включает в себя тепловой расчет котельного агрегата П-67. Поверочный расчет состоит в определении температур и тепловосприятий рабочего тела и газовой среды в поверхностях нагрева котла. Кроме этого выполняется аэродинамический расчет тяги и дутья, выбор дымососов и дутьевых вентиляторов.

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование величины	Значение величины
Прототип котла	П-67
Топливо	Березовский бурый уголь
Паропроизводительность $D_{пе}, \text{т/ч}$	2650
Давление острого пара $P_{пе}, \text{МПа}$	25,5
Температура острого пара $t_{пе}, ^\circ\text{C}$	545
Температура горячего воздуха $t_{гв}, ^\circ\text{C}$	335
Температура питательной воды $t_{пв}, ^\circ\text{C}$	274
Температура уходящих газов $t_{ух}, ^\circ\text{C}$	150
Температура холодного воздуха $t_{хв}, ^\circ\text{C}$	40

Таблица 1 – Теплотехнические характеристики твердого топлива

Бассейн, месторождение	Канско-Ачинский
Марка, класс	Б2
Выход летучих веществ $V^r, \%$	48
Теплота сгорания $Q_H^p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	15671
Коэффициент размолоспособности $K_{ло}$	1,3

Таблица 3 – Состав рабочей массы топлива

Состав рабочей массы топлива, %						
W^p	A^p	S^p	C^p	H^p	N^p	O^p
33	4,3	0,2	44,3	3	0,4	14,4

Таблица 4 – Температурные характеристики золы

Температурные характеристики золы, $^\circ\text{C}$		
t_1	t_2	t_3
1270	1290	1310

2.2 Коэффициент избытка воздуха в газовом тракте котла

Для расчета действительных объемов продуктов горения по газоходам агрегата, прежде всего, выбирают коэффициент избытка воздуха в верхней части топки α_T и присосы воздуха в отдельных поверхностях нагрева $\Delta\alpha$. Коэффициент избытка воздуха α_T должен обеспечить практически полное сжигание топлива, он выбирается в зависимости от типа топочного устройства и вида сжигаемого топлива. Значение приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетный коэффициент избытка воздуха на выходе из топки

Топка	Топливо	Коэффициент α_T
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Бурый уголь	1,18

Таблица 6 – Расчетные присосы холодного воздуха в топках и газоходах

Поверхность нагрева	Обозначение	Присос
КПП или ШПП	$\Delta\alpha_{ПП}$	0,03
ВЭК	$\Delta\alpha_{ВЭ}$	0,02
Трубчатый ВЗП	$\Delta\alpha_{ВП}$	0,03

Коэффициент избытка воздуха после КПП определяется по следующему выражению:

$$\alpha''_{ПП} = \alpha_T + \Delta\alpha_{ПП} \quad (1)$$

$$\alpha''_{ПП} = 1,18 + 0,03 = 1,21$$

Коэффициент избытка воздуха после ВЭК определяется по следующему выражению:

$$\alpha''_{ВЭ} = \alpha''_{ПП} + \Delta\alpha_{ВЭ} \quad (2)$$

$$\alpha''_{ВЭ} = 1,23 + 0,02 = 1,24$$

Коэффициент избытка воздуха после ВЗП определяется по следующему выражению:

$$\alpha''_{\text{вп}} = \alpha''_{\text{вэ}} + \Delta\alpha_{\text{вп}} \quad (3)$$

$$\alpha''_{\text{вп}} = 1,24 + 0,03 = 1,27$$

2.3 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

Для твердого топлива расчет теоретических объемов воздуха $\text{м}^3/\text{кг}$ и

$$\alpha''_{\text{вп}} = 1,25 + 0,03 = 1,27 \quad \begin{array}{l} \text{продуктов} \quad \text{сгорания} \quad (\text{при} \quad \alpha = 1) \\ \text{производят, исходя из состава рабочей} \end{array}$$

массы по следующим формулам:

Теоретический объем воздуха, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{в}}^0 = 0,0889 \cdot (C^{\text{р}} + 0,375 \cdot S^{\text{р}}) + 0,265 \cdot H^{\text{р}} - 0,0333 \cdot O^{\text{р}} \quad (4)$$

где $C^{\text{р}}$ – количество углерода на рабочую массу топлива, %;

$S^{\text{р}}$ – количество серы на рабочую массу топлива, %;

$H^{\text{р}}$ – количество водорода на рабочую массу топлива, %;

$O^{\text{р}}$ – количество кислорода на рабочую массу топлива, %;

$$V_{\text{в}}^0 = 0,0889 \cdot (44,3 + 0,375 \cdot 0,2) + 0,265 \cdot 3 - 0,0333 \cdot 14,4 = 4,26$$

Теоретические объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании топлива:

Объем азота, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_{\text{в}}^0 + 0,8 \cdot \frac{N^{\text{р}}}{100} \quad (5)$$

где $N^{\text{р}}$ – количество азота на рабочую массу топлива, %;

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 4,26 + 0,8 \cdot \frac{0,4}{100} = 3,369$$

Объем трехатомных газов, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{C^{\text{р}} + 0,375 \cdot S^{\text{р}}}{100} \quad (6)$$

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{44,3 + 0,375 \cdot 0,2}{100} = 0,828$$

Объем водяных паров, м³/кг:

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V_B^0 \quad (7)$$

где W^p – влажность топлива на рабочую массу топлива, %;

Объем дымовых газов, м³/кг:

$$V_{\Gamma}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 \quad (8)$$

$$V_{\Gamma}^0 = 0,828 + 3,369 + 0,811 = 5,008$$

2.4 Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания в кДж/кг при расчетной температуре определяют по формулам:

$$H_B^0 = V_B^0 \cdot C_B \cdot \vartheta \quad (9)$$

$$H_{\Gamma}^0 = (V_{RO_2} \cdot C_{RO_2} + V_{H_2O}^0 \cdot C_{H_2O} + V_{N_2}^0 \cdot C_{N_2}) \cdot \vartheta \quad (10)$$

Энтальпия продуктов сгорания при избытке воздуха $\alpha > 1$

$$H_{\Gamma} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) \cdot H_B^0 + H_{зл} \quad (11)$$

В приведенных формулах: C_B , C_{RO_2} , C_{H_2O} , C_{N_2} – теплоемкости соответственно воздуха, трехатомных газов, водяных паров и азота при постоянном давлении кДж/(м³ · К). $H_{зл}$ – энтальпия золы кДж/кг, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$H_{зл} = 0,01 \cdot \alpha_{ун} \cdot A^p \cdot C_{зл} \cdot \vartheta \quad (12)$$

где $C_{зл}$ – теплоемкость золы кДж/(кг · К).

Таблица 7 – Энтальпии продуктов сгорания, кДж/кг

ϑ , °C	$H_{\text{в}}^0$	$H_{\text{г}}^0$	$H_{\text{зл}}$	$H_{\text{г}} = H_{\text{г}}^0 + (\alpha - 1) \cdot H_{\text{в}}^0 + H_{\text{зл}}$			
				$\alpha_{\text{г}}$	$\alpha''_{\text{пп}}$	$\alpha''_{\text{вэ}}$	$\alpha''_{\text{вп}}$
100	661,9	562,2	3,3	766,4	783,3	800,1	817,0
200	1349,2	1129,2	6,9	1559,4	1593,2	1627,1	1661,0
300	2068,5	1703,3	10,8	2385,8	2436,9	2488,0	2539,1
400	2895,0	2309,8	14,7	3325,5	3394,8	3464,1	3533,4
500	3711,5	2916,6	18,7	4255,2	4342,7	4430,2	4517,7
600	4568,1	3537,5	22,9	5227,7	5333,8	5440,0	5546,1
700	5466,7	4170,6	27,1	6244,5	6369,6	6494,7	6619,8
800	6404,2	4813,5	31,3	7302,0	7446,4	7590,8	7735,2
900	7378,6	5466,9	35,7	8398,3	8562,3	8726,4	8890,4
1000	8387,3	6127,6	40,2	9530,5	9714,3	9898,1	10082,0
1100	9430,1	6838,7	44,8	10705,9	10911,0	11116,2	11321,4
1200	10503,1	7475,3	49,3	11897,9	12122,2	12346,4	12570,7
1300	11606,9	8160,8	55,6	13131,4	13376,2	13621,0	13865,9
1400	12731,5	8851,2	64,6	14389,4	14654,9	14920,5	15186,0
1500	13883,9	9544,7	71,8	15673,7	15960,1	16246,4	16532,8
1600	15056,1	10243,8	78,0	16978,0	17285,3	17592,6	17899,9
1700	16256,5	10944,8	84,3	18310,8	18639,2	18967,5	19295,9
1800	17466,1	11646,9	90,8	19653,3	20002,7	20352,1	20701,5
1900	18693,5	12357,9	97,5	21015,4	21386,2	21756,9	22127,6
2000	19939,9	13069,7	102,8	22395,2	22787,3	23179,4	23571,5
2100	21204,9	13786,7	108,1	23794,6	24208,2	24621,8	25035,4
2200	22472,3	14502,2	0,0	25082,7	25517,7	25952,8	26387,9
2300	23760,2	15222,2	0,0	26500,2	26956,8	27413,5	27870,2

2.5 Определение расхода топлива

Полный расход топлива B , кг/с, подаваемого в топочную камеру парового котла, определяется из баланса между полезным тепловыделением при горении топлива и тепловосприятием рабочей среды в паровом котле:

$$B = \frac{D_{\text{пе}} \cdot (h_{\text{пе}} - h_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}} \cdot (h''_{\text{пр}} - h'_{\text{пр}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}} \quad (13)$$

где $h_{\text{пе}} = f(p_{\text{пе}}, t_{\text{пе}}) = f(25,5; 545) = 3317,021$ кДж/кг – энтальпия перегретого пара;

$h_{\text{пв}} = f(p_{\text{пв}}, t_{\text{пв}}) = f(31,2; 274) = 1205$ кДж/кг – энтальпия питательной воды;

$h''_{\text{пр}} = 3544,4$ кДж/кг – энтальпия пара после промперегрева на входе в ЦСД;

$h'_{\text{пр}} = 2932,9$ кДж/кг – энтальпия пара после ЦВД на входе в промперегрев;

$D_{\text{пр}} = 604,1$ кг/с – расход пара на промперегрев, задаемcя значением из технического описания;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 15671$ кДж/кг – теплота сгорания топлива, (см. таблицу 2);

$D_{\text{пе}} = 761,11$ кг/с – заданная паропроизводительность котла;

$\eta_{\text{к}} = 91,3\%$ – коэффициент полезного действия котла, задаемcя значением из технического описания;

$$B = \frac{761,1 \cdot (3317,021 - 1205) + 604,1 \cdot (3544,4 - 2932,9)}{15671 \cdot 0,913} = 138,119$$

При ненулевых значениях механического недожога q_4 необходимо определить значение расчетного расхода сгоревшего топлива $B_{\text{р}}$, на основе которого производится определение полного расхода газов и воздуха в газоздушном тракте котла:

$$B_p = B \cdot (1 - 0,01 \cdot q_4) \quad (14)$$

$$B_p = 138,119 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,5) = 137,429 \text{ кг/с}$$

2.6 Поверочный расчет котла до реконструкции

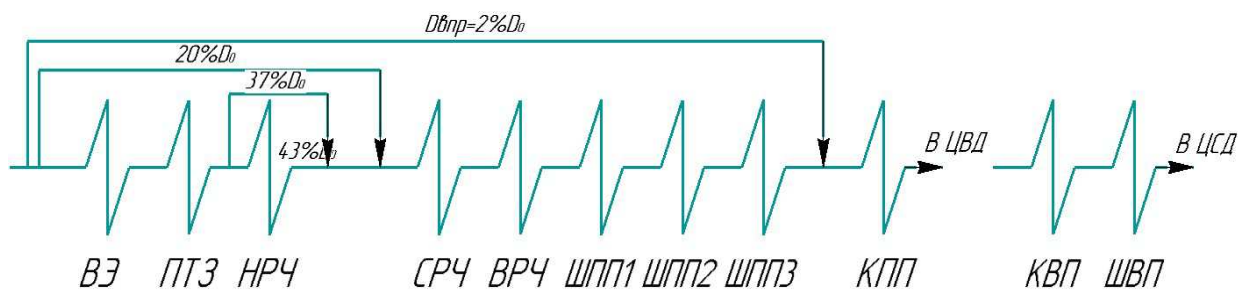


Рисунок 2 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

2.7 Расчет водяного экономайзера

Целью расчета водяного экономайзера является определение температуры и тепловосприятости рабочего тела для дальнейшего теплового расчета топочной камеры.

Таблица 8 – Входные параметры для ВЭК

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{ВЭК}$, °С.	458
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{ВЭК}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	4033,625
Температура питательной воды $t_{ПВ}$, °С.	274
Энтальпия питательной воды $h_{ПВ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1205
Площадь водяного экономайзера $F_{ВЭК}$, м^2 .	19100
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{ВЭК}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120
Энтальпия холодного воздуха $H_{ХВ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

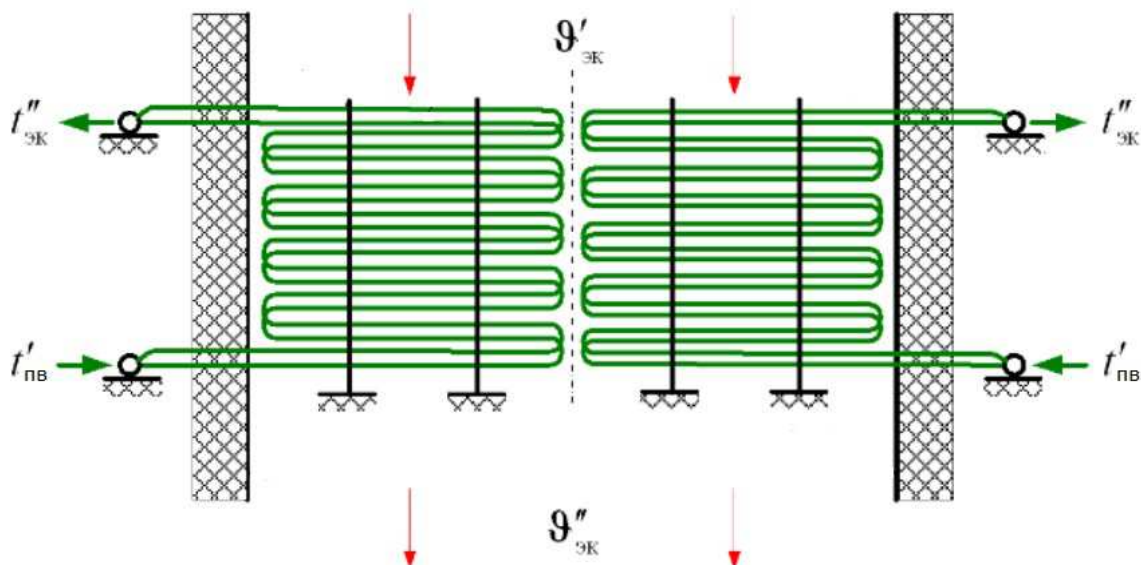


Рисунок 3 - Водяной экономайзер

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ВЭК}} = \frac{k \cdot F_{\text{ВЭК}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{ВЭК}} = \frac{D_{\text{ВЭК}} \cdot (h''(t''_{\text{ВЭК}}) - t_{\text{пв}})}{B_p} \\ Q_{\text{ВЭК}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ВЭК}} - H''_{\text{ВЭК}}(\vartheta''_{\text{ВЭК}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (15)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ВЭК}} = \frac{66,9 \cdot 19100 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ВЭК}} - 274) + (458 - t''_{\text{ВЭК}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ВЭК}} - 274)}{(458 - t''_{\text{ВЭК}})}} \\ Q_{\text{ВЭК}} = \frac{2120 \cdot (h''(t''_{\text{ВЭК}}) - 274)}{137,429} \\ Q_{\text{ВЭК}} = 0,9981 \cdot (4033,625 - H''_{\text{ВЭК}}(\vartheta''_{\text{ВЭК}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (16)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ВЭК}} = 983,122 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ВЭК}} = 352,991 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t''_{\text{ВЭК}} = 320,354 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2.8 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков КВП

Таблица 9 – Входные параметры для ПТЗ КВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ПКВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	635
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ПКВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	5727,919
Температура на входе $t'_{\text{ПКВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	320,354
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ПКВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1434,43
Площадь подвесных труб $F_{\text{ПКВП}}$, м^2 .	2200
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ПКВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ПКВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ПКВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ПКВП}} = \frac{D_{\text{ПКВП}} \cdot (h''(t''_{\text{ПКВП}}) - t'_{\text{ПКВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ПКВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ПКВП}} - H''_{\text{ПКВП}}(\vartheta''_{\text{ПКВП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (17)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ПКВП}} = \frac{31,6 \cdot 2200 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ПКВП}} - 320,354) + (635 - t''_{\text{ПКВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ПКВП}} - 320,354)}{(635 - t''_{\text{ПКВП}})}} \\ Q_{\text{ПКВП}} = \frac{2120 \cdot (h''(t''_{\text{ПКВП}}) - 320,354)}{137,429} \\ Q_{\text{ПКВП}} = 0,9981 \cdot (5727,919 - H''_{\text{ПКВП}}(\vartheta''_{\text{ПКВП}}) + 0,02 \cdot 224, \end{array} \right. \quad (18)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ПКВП}} &= 153,837 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ПКВП}} &= 619,766 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{ПКВП}} &= 326,836 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 326,836 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

2.9 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков КПП

Таблица 10 – Входные параметры для ПТЗ КПП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ПКПП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	712
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ПКПП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6359,289
Температура на входе $t'_{\text{ПКПП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	326,836
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ПКПП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1497,5
Площадь подвесных труб $F_{\text{ПКПП}}$, м^2 .	765
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ПКПП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ПКПП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ПКПП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ПКПП}} = \frac{D_{\text{ПКПП}} \cdot (h''(t''_{\text{ПКПП}}) - t'_{\text{ПКПП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ПКПП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ПКПП}} - H''_{\text{ПКПП}}(\vartheta''_{\text{ПКПП}}) + \Delta \alpha_{\text{КПП}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (19)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ПКПП}} = \frac{35,6 \cdot 765 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ПКПП}} - 326,836) + (712 - t''_{\text{ПКПП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ПКПП}} - 326,836)}{(635 - t''_{\text{ПКПП}})}} \\ Q_{\text{ПКПП}} = \frac{2120 \cdot (h''(t''_{\text{ПКПП}}) - 326,836)}{137,429} \\ Q_{\text{ПКПП}} = 0,9981 \cdot (6359,289 - H''_{\text{ПКПП}}(\vartheta''_{\text{ПКПП}}) + 0,02 \cdot 224 \end{array} \right. \quad (20)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ПКПП}} &= 74,918 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ПКПП}} &= 704,827 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ПКПП}} &= 334,728 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 378,055 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

2.10 Расчет подвесных труб конвективных змеевиков ПК

Таблица 11 – Входные параметры для ПТЗ ПК

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ППК}}$, °С.	773
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ППК}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6820,139
Температура на входе $t'_{\text{ППК}}$, °С.	334,731
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ППК}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1515
Площадь подвесных труб $F_{\text{ППК}}$, м ² .	2100
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ППК}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ППК}} = \frac{k \cdot F_{\text{ППК}} \cdot \Delta t}{B_{\text{р}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{ППК}} = \frac{D_{\text{ППК}} \cdot (h''(t''_{\text{ППК}}) - t'_{\text{ППК}})}{B_{\text{р}}} \\ Q_{\text{ППК}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ППК}} - H''_{\text{ППК}}(\vartheta''_{\text{ППК}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (21)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ППК}} = \frac{47 \cdot 2100 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ППК}} - 334,731) + (773 - t''_{\text{ППК}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ППК}} - 334,731)}{(635 - t''_{\text{ППК}})}} \\ Q_{\text{ППК}} = \frac{2120 \cdot (h''(t''_{\text{ППК}}) - 334,731)}{137,429} \\ Q_{\text{ППК}} = 0,9981 \cdot (6820,139 - H''_{\text{ППК}}(\vartheta''_{\text{ППК}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (22)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ППК}} &= 299,812 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ППК}} &= 742,319 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ППК}} &= 346,471 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 417,456 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

2.11 Расчет нижней радиационной части

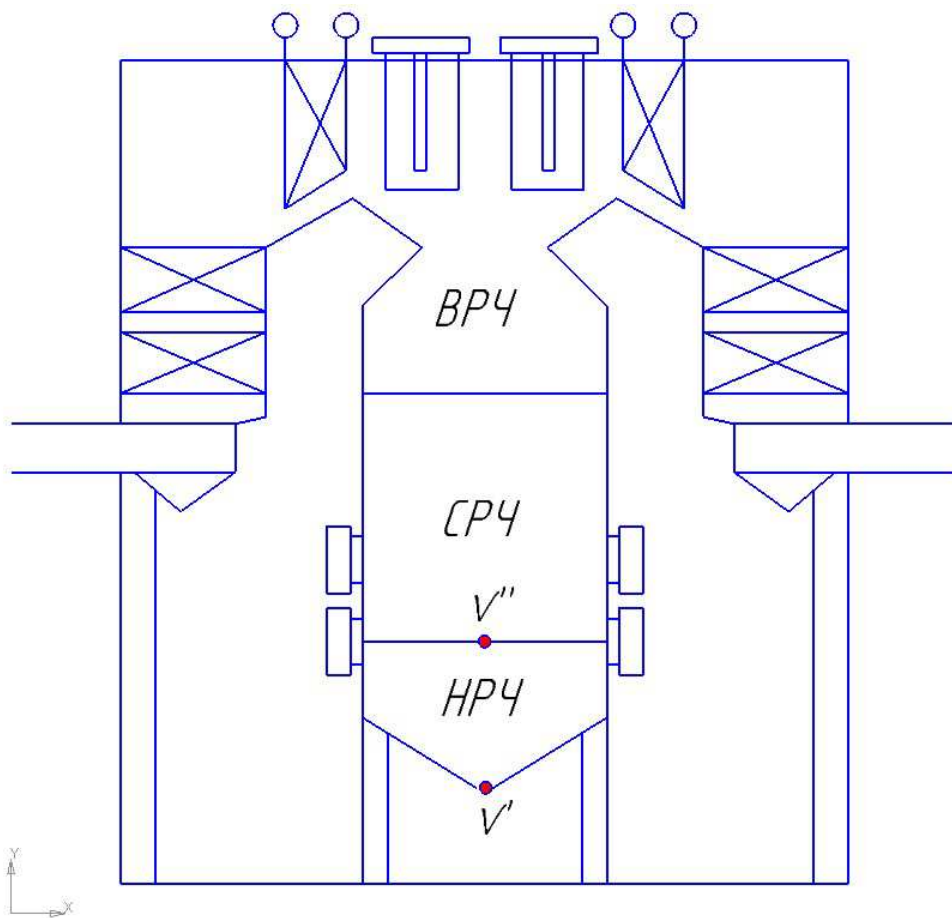


Рисунок 4 – Нижняя радиационная часть.

Задачей расчета теплообмена в топочной камере является определение тепловосприятости экранов топки $Q_{\text{л}}$ и температуры газов на выходе из нее $\vartheta''_{\text{т}}$.

Полезное тепловыделение в топочной камере $Q_{\text{т}}$, кДж/кг, складывается из располагаемой теплоты топлива $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ или только теплоты его сгорания, а также теплоты горячего воздуха $Q_{\text{в}}$, поступающего в топку:

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{п}}^{\text{р}} \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\text{в}} \quad (23)$$

Теплота поступающего в топочную камеру воздуха складывается из энтальпии горячего воздуха, определяемой на основании выбранной температуры $t_{\text{гв}}$ и относительного избытка воздуха $\beta_{\text{гв}}$:

$$Q_{\text{в}} = \beta_{\text{гв}} \cdot H_{\text{гв}}^0 + (\Delta\alpha_{\text{т}} + \Delta\alpha_{\text{пл}}) \cdot H_{\text{хв}}^0 \quad (24)$$

где $H_{\text{гв}}^0$ и $H_{\text{хв}}^0$ – энтальпии горячего и холодного воздуха, кДж/кг;

$\beta_{\text{гв}} = \alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{пл}} = 1,035$ – относительный избыток воздуха;

$$Q_{\text{в}} = 1,035 \cdot 1915 + (0,02 + 0,125) \cdot 224,89 = 2014,634 \quad (25)$$

$$Q_{\text{т}} = 15671 \cdot \frac{100 - 0 - 0,5 - 0,008}{100 - 0,5} + 2014,634 = 17684,31 \quad (26)$$

Таблица 12 – Входные параметры для НРЧ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{НРЧ}}$, °С.	1819,318
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{НРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	17684,31
Температура на входе $t'_{\text{НРЧ}}$, °С.	346,471
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{НРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1585,01
Площадь подвесных труб $F_{\text{НРЧ}}$, м ² .	1380
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02

Окончание таблицы 12

Расход пара через экономайзер $D_{\text{НРЧ}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	1139,5
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89
Коэффициент тепловой эффективности ψ .	0,35
Степень черноты $a_{\text{т}}$.	0,962
Коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки $y_{\text{в}}$.	0,9

Для расчета поверхности нагрева необходимо записать следующие уравнения:

Количество тепла, воспринятого в поверхности нагрева, кДж/кг

$$Q = \frac{S_t \cdot \psi \cdot a_{\text{т}} \cdot \left(\frac{(\vartheta'' + \vartheta')}{2} \right)^4 \cdot F_{\text{НРЧ}}}{y_{\text{в}} \cdot B_{\text{р}}} \quad (27)$$

Уравнение теплового баланса по газовой стороне, кДж/кг

$$Q = \varphi \cdot (H' - H'' + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{пр}}) \quad (28)$$

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\begin{cases} Q = \varphi \cdot (H'_{\text{НРЧ}} - H''_{\text{НРЧ}} + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{пр}}) \\ Q = \frac{S_t \cdot \psi \cdot a_{\text{т}} \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{НРЧ}} + \vartheta'_{\text{НРЧ}})}{2} \right)^4 \cdot F_{\text{НРЧ}}}{y_{\text{в}} \cdot B_{\text{р}}} \end{cases} \quad (29)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\begin{cases} Q = 0,9981 \cdot (17684,31 - H''_{\text{НРЧ}} + 0,02 \cdot 224,89) \\ Q = \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,35 \cdot 0,962 \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{НРЧ}} + 1819,318)}{2} \right)^4 \cdot 1380}{0,9 \cdot 137,429} \end{cases} \quad (30)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{НРЧ}} = 3076,436 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{НРЧ}} = 1533,315 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Прирост энтальпии в нижней радиационной части

$$h''_{\text{НРЧ}} = h'_{\text{НРЧ}} + \frac{Q_{\text{НРЧ}} \cdot B_p}{D} \quad (31)$$

$$h''_{\text{НРЧ}} = 1585,01 + \frac{3076,436 \cdot 137,429}{2650} = 2158,389 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

По полученной энтальпии $h''_{\text{НРЧ}}$ находим температуру за НРЧ, которая равна $t''_{\text{НРЧ}} = 400,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.12 Точки смешения после нижней радиационной части

Первая точка смешения.

$$h_{\text{см1}} = \frac{D_{\text{Б1}} \cdot h'_{\text{НРЧ}} + D_{\text{НРЧ}} \cdot h''_{\text{НРЧ}}}{D_{\text{НРЧ}} + D_{\text{Б}}}$$

$$h_{\text{см1}} = \frac{980,5 \cdot 1585 + 1139,5 \cdot 2159,371}{1139,5 + 980,5} = 1893,73 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после первой точки $t_{\text{см1}} = 385 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вторая точка смешения.

$$h_{\text{см1}} = \frac{D_{\text{Б2}} \cdot h_{\text{пв}} + (D_{\text{НРЧ}} + D_{\text{Б1}}) \cdot h_{\text{см1}}}{D_{\text{НРЧ}} + D_{\text{Б1}} + D_{\text{Б2}}} \quad (33)$$

$$h_{\text{см1}} = \frac{530 \cdot 1200 + (1139,5 + 980,5) \cdot 1893,73}{1139,5 + 980,5 + 530} = 1755,984 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после второй точки $t_{\text{см2}} = 370,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.13 Расчет средней радиационной части

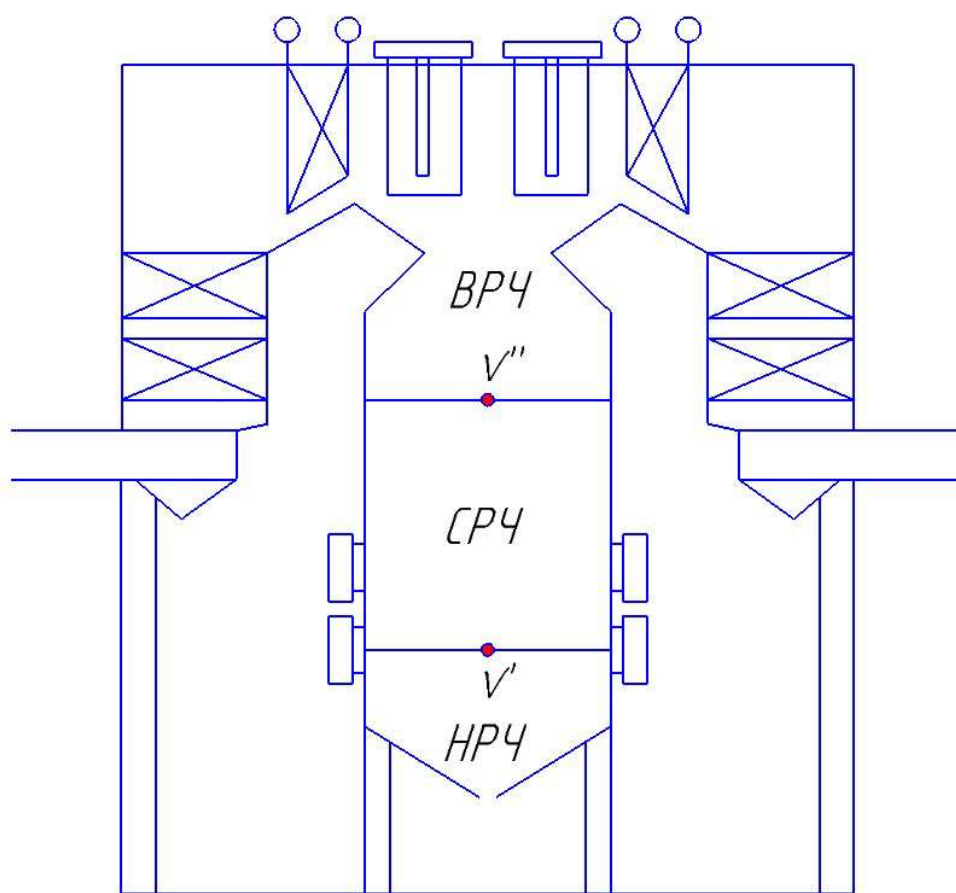


Рисунок 5 – Средняя радиационная часть

Таблица 13 – Входные параметры для СРЧ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{СРЧ}}$, °С.	1533,315
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{СРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	14606,516
Температура на входе $t'_{\text{СРЧ}}$, °С.	370,6
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{СРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	1755,984
Площадь подвесных труб $F_{\text{СРЧ}}$, м ² .	3280
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{СРЧ}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120

Окончание таблицы 13

Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89
Коэффициент тепловой эффективности ψ .	0,35
Степень черноты $a_{\text{т}}$.	0,962
Коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки $y_{\text{в}}$.	1,2

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\begin{cases} Q = \varphi \cdot (H'_{\text{срч}} - H''_{\text{срч}} + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{пр}}) \\ Q = \frac{S_t \cdot \psi \cdot a_{\text{т}} \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{срч}} + \vartheta'_{\text{срч}})}{2} \right)^4 \cdot F_{\text{срч}}}{y_{\text{в}} \cdot B_{\text{р}}} \end{cases} \quad (34)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\begin{cases} Q = 0,9981 \cdot (14606,516 - H''_{\text{срч}} + 0,02 \cdot 224,89) \\ Q = \frac{5,67 \cdot 10^{-1} \cdot 0,35 \cdot 0,962 \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{срч}} + 153,315)}{2} \right)^4 \cdot 3280}{1,2 \cdot 137,429} \end{cases} \quad (35)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{срч}} = 2934,235 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{срч}} = 1254,983 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Прирост энтальпии в нижней радиационной части

$$h''_{\text{срч}} = h'_{\text{срч}} + \frac{Q_{\text{срч}} \cdot B_{\text{р}}}{D} \quad (36)$$

$$h''_{\text{срч}} = 1755,984 + \frac{2934,235 \cdot 137,429}{2650} = 2303,794 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

По полученной энтальпии $h''_{\text{срч}}$ находим температуру за НРЧ, которая равна $t''_{\text{срч}} = 406,1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2.14 Расчет верхней радиационной части

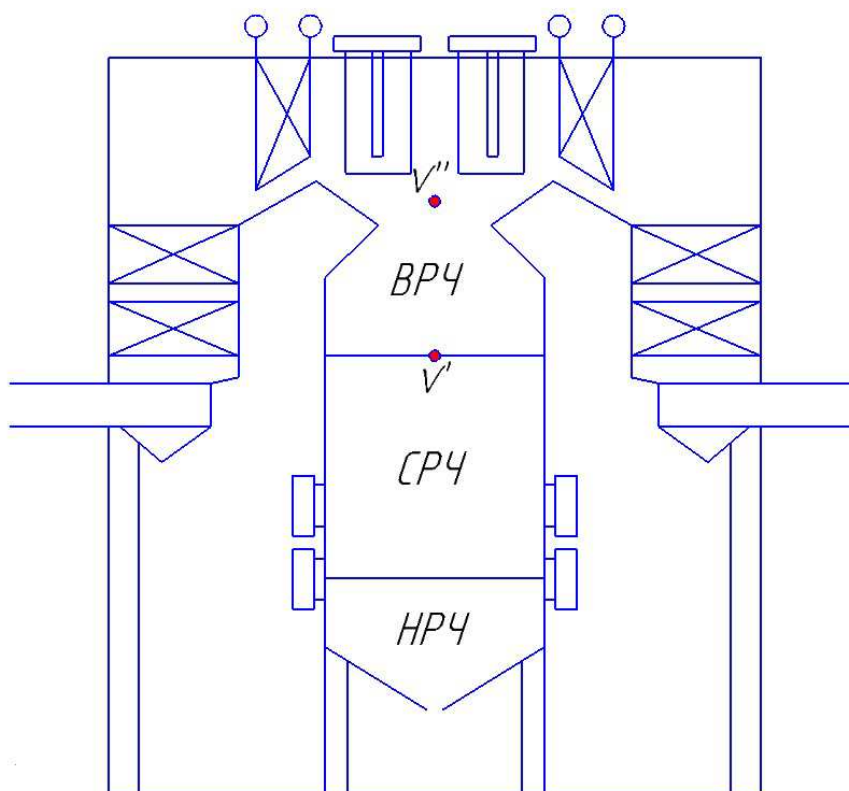


Рисунок 6 – Верхняя радиационная часть

Таблица 14 – Входные параметры для ВРЧ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ВРЧ}}$, °С.	1254,983
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ВРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	11671,189
Температура на входе $t'_{\text{ВРЧ}}$, °С.	406,1
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ВРЧ}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2303,79
Площадь подвесных труб $F_{\text{ВРЧ}}$, м ² .	1635
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ВРЧ}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2120
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Окончание таблицы 14

Коэффициент тепловой эффективности ψ .	0,35
Степень черноты a_T .	0,962
Коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки y_B .	0,96

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\begin{cases} Q = \varphi \cdot (H'_{\text{ВРЧ}} - H''_{\text{ВРЧ}} + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{пр}}) \\ Q = \frac{S_t \cdot \psi \cdot a_T \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{ВРЧ}} + \vartheta'_{\text{ВРЧ}})}{2} \right)^4 \cdot F_{\text{ВРЧ}}}{y_B \cdot B_p} \end{cases} \quad (37)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\begin{cases} Q = 0,9981 \cdot (11671,189 - H''_{\text{ВРЧ}} + 0,02 \cdot 224,89) \\ Q = \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,35 \cdot 0,962 \cdot \left(\frac{(\vartheta''_{\text{ВРЧ}} + 1254,983)}{2} \right)^4 \cdot 1635}{0,96 \cdot 137,429} \end{cases} \quad (38)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ВРЧ}} = 1116,924 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ВРЧ}} = 1146,783 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Прирост энтальпии в нижней радиационной части

$$h''_{\text{ВРЧ}} = h'_{\text{ВРЧ}} + \frac{Q_{\text{ВРЧ}} \cdot B_p}{D} \quad (39)$$

$$h''_{\text{ВРЧ}} = 2303,794 + \frac{1116,924 \cdot 137,429}{2650} = 2512,319 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

По полученной энтальпии $h''_{\text{ВРЧ}}$ находим температуру за НРЧ, которая равна $t''_{\text{ВРЧ}} = 417,3 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2.15 Расчет первой ширмы

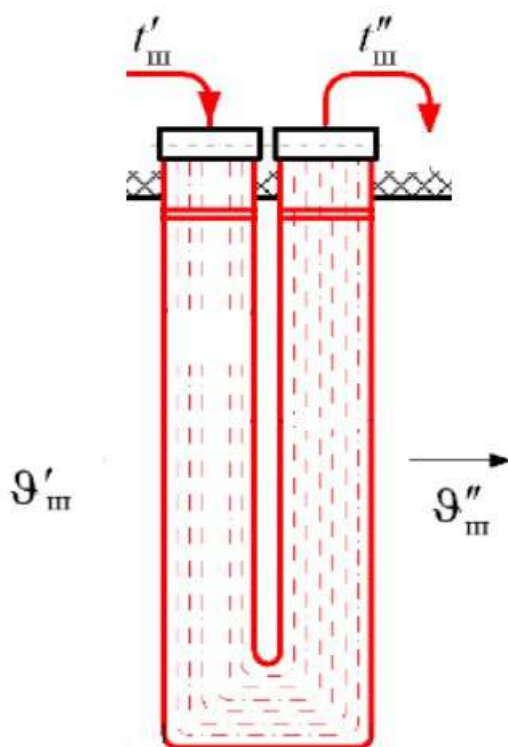


Рисунок 7 – Ширмовый пароперегреватель.

Таблица 15 – Входные параметры для Ш1

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{Ш1}$, °С.	911
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{Ш1}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8338,07
Температура на входе $t'_{Ш1}$, °С.	417,3
Энтальпия питательной воды $h'_{Ш1}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2512,319
Площадь подвесных труб $F_{Ш1}$, м ² .	3150
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{Ш1}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{хв}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш1}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{D_{\text{ш1}} \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - t'_{\text{ш1}})}{B_p} \\ Q_{\text{ш1}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш1}} - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (40)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{63,9 \cdot 3150 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 417,3) + (911 - t''_{\text{ш1}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 417,3)}{(911 - t''_{\text{ш1}})}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - 417,3)}{137,429} \\ Q_{\text{ш1}} = 0,9981 \cdot (8338,07 - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (41)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш1}} &= 664,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш1}} &= 845,15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ш1}} &= 430,4 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 453,58 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

2.16 Расчет второй ширмы

Таблица 16 – Входные параметры для Ш2

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш2}}$, $^\circ\text{C}$.	1088
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш2}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	10138,863
Температура на входе $t'_{\text{ш2}}$, $^\circ\text{C}$.	430,4
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш2}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2765,9

Окончание таблицы 16

Площадь подвесных труб $F_{\text{ш2}}, \text{м}^2$.	3960
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш2}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш2}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш2}} \cdot \Delta t}{B_{\text{п}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{г}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{ш2}} = \frac{D_{\text{ш2}} \cdot (h''(t''_{\text{ш2}}) - t'_{\text{ш2}})}{B_{\text{п}}} \\ Q_{\text{ш2}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш2}} - H''_{\text{ш2}}(\vartheta''_{\text{ш2}})) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}} \end{array} \right. \quad (42)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш2}} = \frac{70 \cdot 3960 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 430,4) + (1088 - t''_{\text{ш2}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 430,4)}{(1088 - t''_{\text{ш2}})}} \\ Q_{\text{ш2}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш2}}) - 430,4)}{137,429} \\ Q_{\text{ш2}} = 0,9981 \cdot (10138,863 - H''_{\text{ш2}}(\vartheta''_{\text{ш2}})) + 0,02 \cdot 224,89 \end{array} \right. \quad (43)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш2}} &= 1166,08 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш2}} &= 973,6 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ш2}} &= 469,48 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 578,1 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

2.17 Расчет третьей ширмы

Таблица 17 – Входные параметры для ШЗ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{ШЗ}$, °С.	973,6
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{ШЗ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	9253,726
Температура на входе $t'_{ШЗ}$, °С.	469,481
Энтальпия питательной воды $h'_{ШЗ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3006,813
Площадь подвесных труб $F_{ШЗ}$, м ² .	3670
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{ШЗ}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{хв}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{ШЗ} = \frac{k \cdot F_{ШЗ} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{ШЗ} = \frac{D_{ШЗ} \cdot (h''(t''_{ШЗ}) - t'_{ШЗ})}{B_p} \\ Q_{ШЗ} = \varphi \cdot (H'_{ШЗ} - H''_{ШЗ}(\vartheta''_{ШЗ}) + \Delta\alpha_{пр} \cdot H_{хв}) \end{array} \right. \quad (44)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШЗ}} = \frac{70 \cdot 3670 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ШЗ}} - 469,481) + (973,6 - t''_{\text{ШЗ}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ШЗ}} - 469,481)}{(973,6 - t''_{\text{ШЗ}})}} \\ Q_{\text{ШЗ}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ШЗ}}) - 469,481)}{137,429} \\ Q_{\text{ШЗ}} = 0,9981 \cdot (9253,726 - H''_{\text{ШЗ}}(\vartheta''_{\text{ШЗ}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (45)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ШЗ}} = 870,636 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ШЗ}} = 911 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t''_{\text{ШЗ}} = 511 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 465,748 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2.18 Впрыск после третьей ширмы

$$h_{\text{впр}} = \frac{D_{\text{впр}} \cdot h_{\text{пв}} + D_{\text{ширм}} \cdot h''_{\text{ШЗ}}}{D_{\text{впр}} + D_{\text{ШЗ}}} \quad (46)$$

$$h_{\text{впр}} = \frac{53 \cdot 1200 + 1325 \cdot 3186,81}{53 + 1325} = 3110,585 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после впрыска $t_{\text{впр}} = 491 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.19 Расчет первичного конвективного пароперегревателя

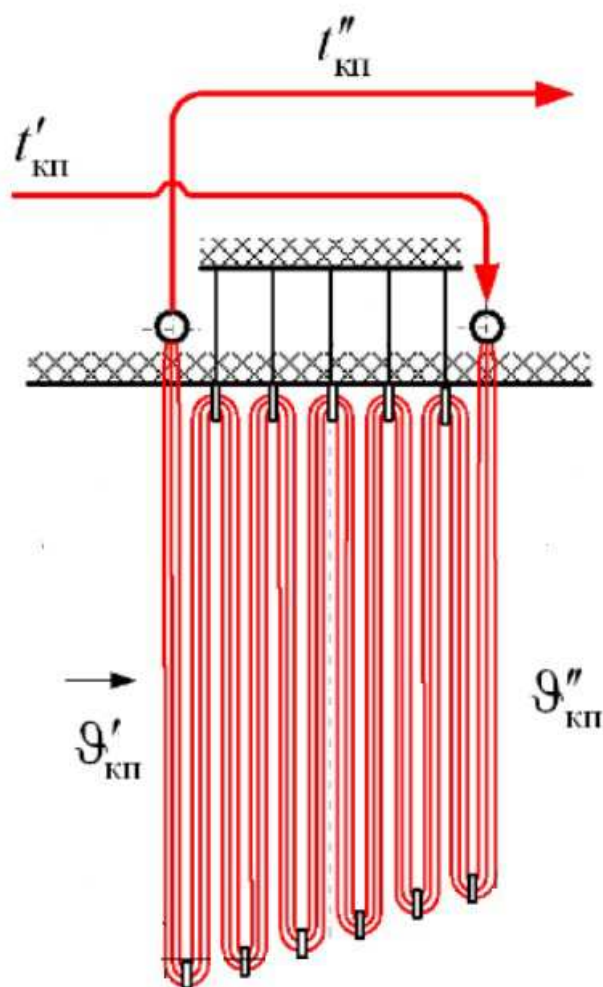


Рисунок 8 – Конвективный пароперегреватель

Таблица 18 – Входные параметры для КПП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{кпп}$, °С.	773
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{кпп}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6934,05
Температура на входе $t'_{кпп}$, °С.	491
Энтальпия питательной воды $h'_{кпп}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3110,585
Площадь подвесных труб $F_{кпп}$, м ² .	8770
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981

Окончание таблицы 18

Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КПП}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КПП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{D_{\text{КПП}} \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - t'_{\text{КПП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КПП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КПП}} - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (47)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{77,5 \cdot 8770 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 491) + (773 - t''_{\text{КПП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 49)}{(773 - t''_{\text{КПП}})}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - 491)}{137,429} \\ Q_{\text{КПП}} = 0,9981 \cdot (6934,5 - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (48)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КПП}} &= 1006,35 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КПП}} &= 674 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{КПП}} &= 545 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 203,48 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

2.20 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя

Таблица 19 – Входные параметры для КВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КВП}}$, °С.	635
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	5574,249
Температура на входе $t'_{\text{КВП}}$, °С.	289
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2933,747
Площадь подвесных труб $F_{\text{КВП}}$, м ² .	19250
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{D_{\text{КВП}} \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - t'_{\text{КВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КВП}} - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (49)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{68 \cdot 19250 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289) + (635 - t''_{\text{КВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289)}{(635 - t''_{\text{КВП}})}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - 289)}{137,429} \\ Q_{\text{КВП}} = 0,9981 \cdot (5574,25 - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (50)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КВП}} &= 1647,714 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КВП}} &= 455,17 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{КВП}} &= 455,41 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 172,99 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

2.21 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя

Таблица 20 – Входные параметры для ШВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	855
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	7588,4
Температура на входе $t'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	455,41
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3344,818
Площадь подвесных труб $F_{\text{ШВП}}$, м^2 .	5630
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ШВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{D_{\text{ШВП}} \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - t'_{\text{ШВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ШВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ШВП}} - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (51)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{65 \cdot 5630 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 455,41) + (855 - t''_{\text{ШВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 455,41)}{(855 - t''_{\text{ШВП}})}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - 455,41)}{137,429} \\ Q_{\text{ШВП}} = 0,9981 \cdot (7588,4 - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (52)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ШВП}} &= 813,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ШВП}} &= 754,6 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ШВП}} &= 545 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 305,35 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

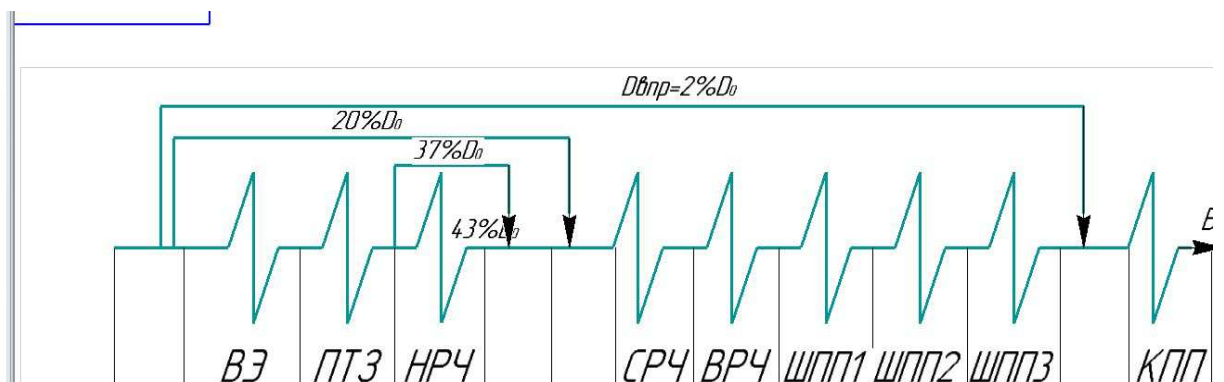


Рисунок 9 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

3 Расчет вариантов реконструкции

3.1 Расчет первого варианта реконструкции

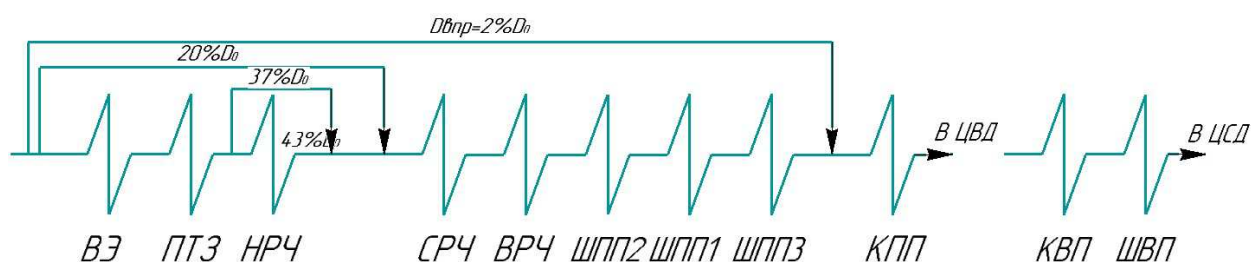


Рисунок 10 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

Все варианты реконструкции подразумевают изменение запитки или геометрии ширмовых пароперегревателей, поэтому нет необходимости повторного пересчета всех поверхностей запитанных до ширмовых пароперегревателей.

Первый вариант реконструкции заключается в подключении ШПП-2 после ВРЧ без изменения геометрии самой ширмы, что дает сделать ШПП-2 «ХОЛОДНЫМ ПАКЕТОМ».

3.2 Расчет второй ширмы

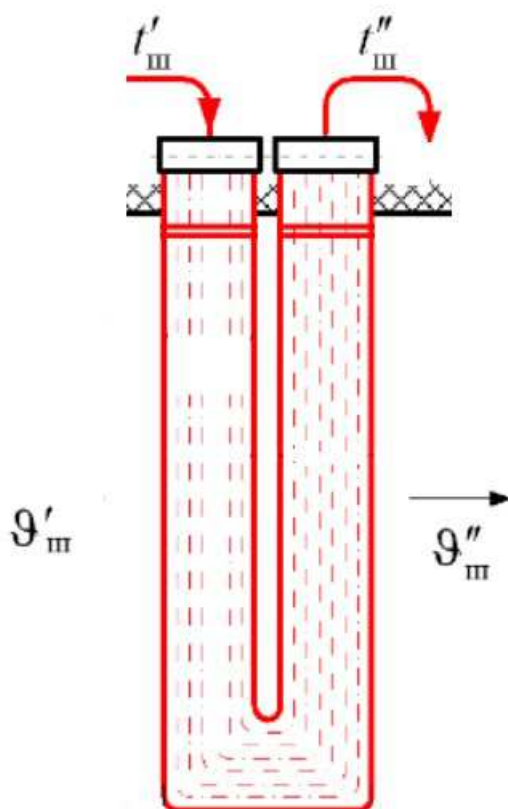


Рисунок 11 – Ширмовый пароперегреватель

Таблица 21 – Входные параметры для Ш2

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{Ш2}$, °С.	1088
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{Ш2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	10138,863
Температура на входе $t'_{Ш2}$, °С.	417,3
Энтальпия питательной воды $h'_{Ш2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2512,32
Площадь подвесных труб $F_{Ш2}$, м ² .	3960
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02

Окончание таблицы 21

Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш2}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш2}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш2}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ш2}} = \frac{D_{\text{ш2}} \cdot (h''(t''_{\text{ш2}}) - t'_{\text{ш2}})}{B_p} \\ Q_{\text{ш2}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш2}} - H''_{\text{ш2}}(\vartheta''_{\text{ш2}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (53)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш2}} = \frac{70 \cdot 3960 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 417,3) + (1088 - t''_{\text{ш2}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 417,3)}{(1088 - t''_{\text{ш2}})}} \\ Q_{\text{ш2}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш2}}) - 417,3)}{137,429} \\ Q_{\text{ш2}} = 0,9981 \cdot (10138,863 - H''_{\text{ш2}}(\vartheta''_{\text{ш2}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (54)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш2}} &= 1216,193 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш2}} &= 968,67^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ш2}} &= 429,99^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 602,96^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

3.3 Расчет первой ширмы

Таблица 22 – Входные параметры для Ш1

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш1}}, ^\circ\text{C}$.	898,468

Окончание таблицы 22

Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш1}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8338,07
Температура на входе $t'_{\text{ш1}}, ^\circ\text{C}$.	429,99
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш1}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2762,6
Площадь подвесных труб $F_{\text{ш1}}, \text{м}^2$.	3150
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш1}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш1}} \cdot \Delta t}{B_{\text{п}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{D_{\text{ш1}} \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - t'_{\text{ш1}})}{B_{\text{п}}} \\ Q_{\text{ш1}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш1}} - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}})) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}} \end{array} \right. \quad (55)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{63,9 \cdot 3150 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 429,99) + (911 - t''_{\text{ш1}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 429,99)}{(911 - t''_{\text{ш1}})}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - 429,99)}{137,429} \\ Q_{\text{ш1}} = 0,9981 \cdot (8338,07 - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}})) + 0,02 \cdot 224,89 \end{array} \right. \quad (56)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ш1}} = 627,41 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ш1}} = 848,84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t''_{\text{ш1}} = 470,02 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 428,36 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3.4 Расчет третьей ширмы

Таблица 23 – Входные параметры для ШЗ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш3}}$, $^{\circ}\text{C}$.	968,675
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш3}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8924,85
Температура на входе $t'_{\text{ш3}}$, $^{\circ}\text{C}$.	470,02
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш3}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3008,42
Площадь подвесных труб $F_{\text{ш3}}$, м^2 .	3670
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш3}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш3}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш3}} \cdot \Delta t}{B_{\text{п}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{ш3}} = \frac{D_{\text{ш3}} \cdot (h''(t''_{\text{ш3}}) - t'_{\text{ш3}})}{B_{\text{п}}} \\ Q_{\text{ш3}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш3}} - H''_{\text{ш3}}(\vartheta''_{\text{ш3}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (57)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{шз}} = \frac{70 \cdot 3670 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 470,02) + (968,675 - t''_{\text{шз}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 470,02)}{(973,6 - t''_{\text{шз}})}} \\ Q_{\text{шз}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{шз}}) - 470,02)}{137,429} \\ Q_{\text{шз}} = 0,9981 \cdot (8924,85 - H''_{\text{шз}}(\vartheta''_{\text{шз}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (58)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{шз}} &= 817,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{шз}} &= 898,468 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{шз}} &= 508,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 437,1 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.5 Впрыск после третьей ширмы

$$h_{\text{впр}} = \frac{D_{\text{впр}} \cdot h_{\text{пв}} + D_{\text{ширм}} \cdot h''_{\text{шз}}}{D_{\text{впр}} + D_{\text{шз}}} \quad (59)$$

$$h_{\text{впр}} = \frac{53 \cdot 1200 + 1325 \cdot 3176,6}{53 + 1325} = 3110,585 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после впрыска $t_{\text{впр}} = 489 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.6 Расчет первичного конвективного пароперегревателя

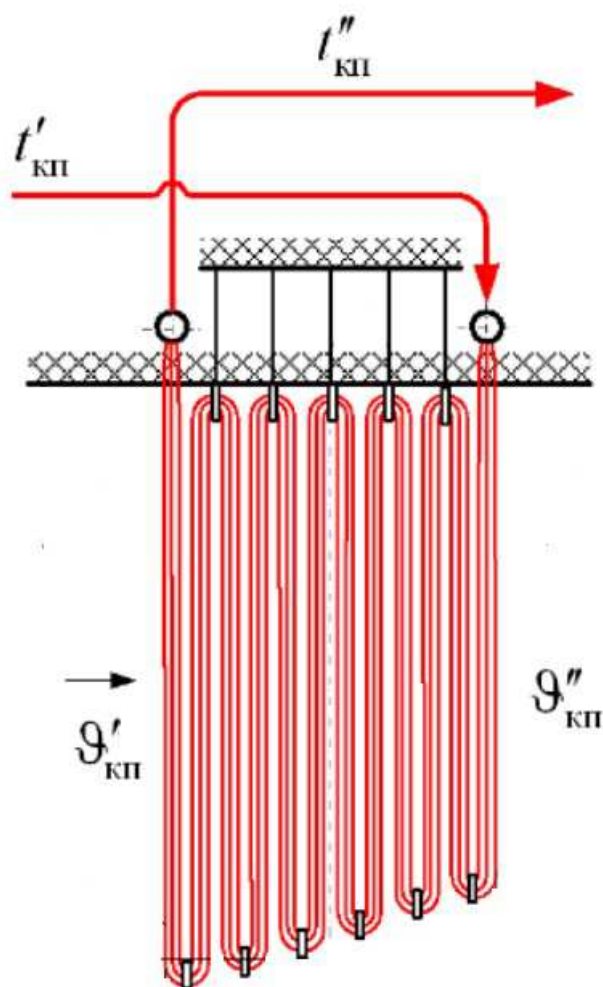


Рисунок 12 – Конвективный пароперегреватель

Таблица 24 – Входные параметры для КПП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{кп}$, °С.	773
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{кп}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6934,05
Температура на входе $t'_{кп}$, °С.	489
Энтальпия питательной воды $h'_{кп}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3100,778
Площадь подвесных труб $F_{кп}$, м ² .	8770
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981

Окончание таблицы 24

Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КПП}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КПП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{D_{\text{КПП}} \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - t'_{\text{КПП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КПП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КПП}} - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (60)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{77,5 \cdot 8770 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 489) + (773 - t''_{\text{КПП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 489)}{(773 - t''_{\text{КПП}})}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - 489)}{137,429} \\ Q_{\text{КПП}} = 0,9981 \cdot (6934,5 - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (61)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КПП}} &= 1014,965 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КПП}} &= 673,49 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{КПП}} &= 545 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 205,224 \text{ } ^\circ\text{C} . \end{aligned}$$

3.7 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя

Таблица 25 – Входные параметры для КВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КВП}}$, °С.	635
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	5574,249
Температура на входе $t'_{\text{КВП}}$, °С.	289
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2933,747
Площадь подвесных труб $F_{\text{КВП}}$, м ² .	19250
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{D_{\text{КВП}} \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - t'_{\text{КВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КВП}} - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (62)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{68 \cdot 19250 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289) + (635 - t''_{\text{КВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289)}{(635 - t''_{\text{КВП}})}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - 289)}{137,429} \\ Q_{\text{КВП}} = 0,9981 \cdot (5574,25 - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (63)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КВП}} &= 1647,714 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КВП}} &= 455,17 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{КВП}} &= 455,41 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 172,99 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.8 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя

Таблица 26 – Входные параметры для ШВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	848,84
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	7588,4
Температура на входе $t'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	455,41
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3344,818
Площадь подвесных труб $F_{\text{ШВП}}$, м^2 .	5630
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ШВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{D_{\text{ШВП}} \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - t'_{\text{ШВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ШВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ШВП}} - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (64)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{65 \cdot 5630 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 455,41) + (855 - t''_{\text{ШВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 455,41)}{(855 - t''_{\text{ШВП}})}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - 455,41)}{137,429} \\ Q_{\text{ШВП}} = 0,9981 \cdot (7588,4 - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (65)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ШВП}} = 813,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ШВП}} = 754,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t''_{\text{ШВП}} = 545 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 305,35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

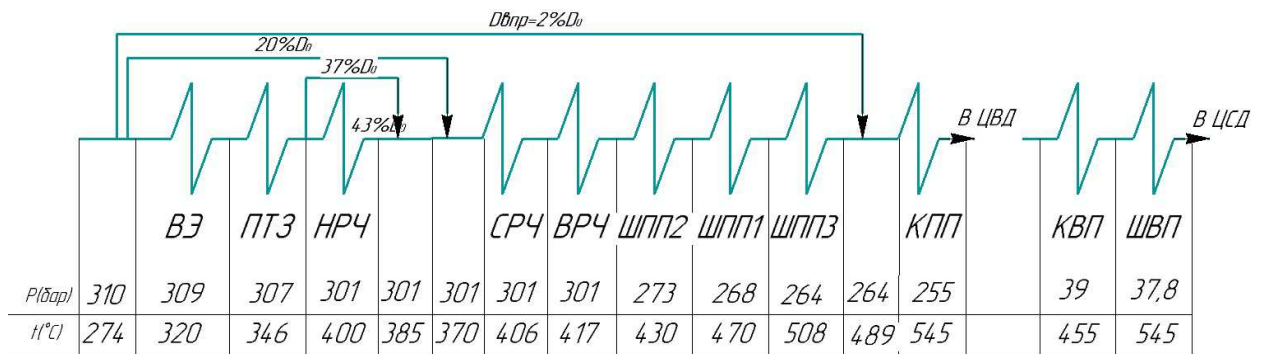


Рисунок 13 – Конвективный пароперегреватель

3.9 Расчет второго варианта реконструкции

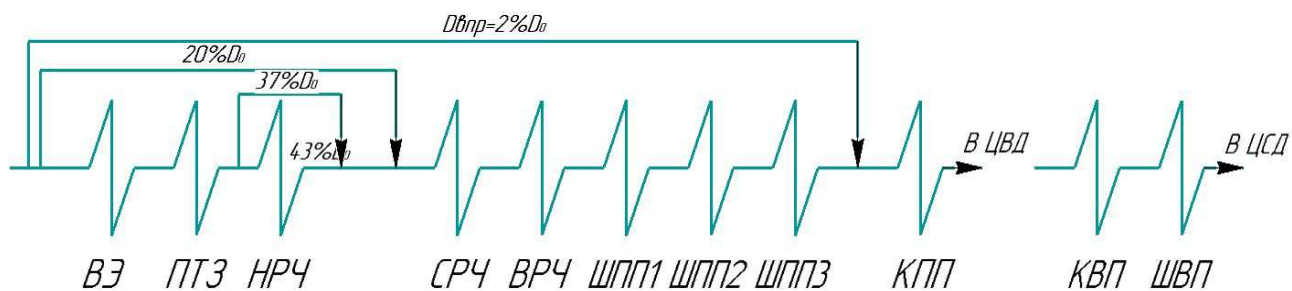


Рисунок 14 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

Второй вариант реконструкции заключается в замене ШПП-2 на ШПП-2L без изменения запитки.

3.10 Расчет первой ширмы

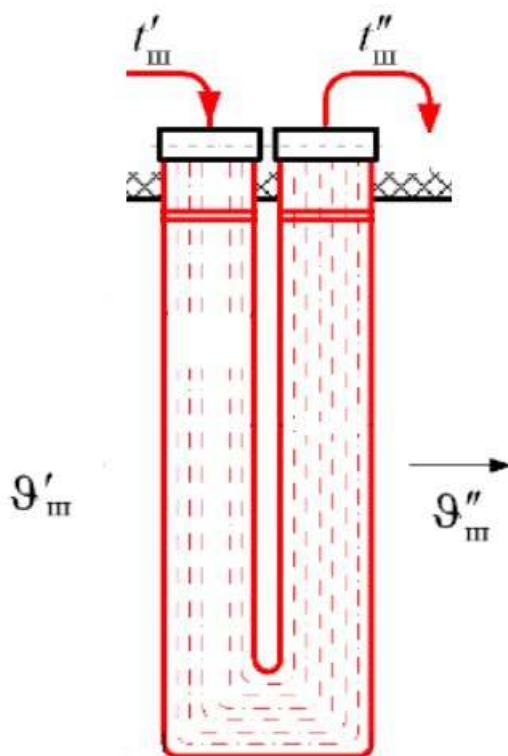


Рисунок 15 – Ширмовый пароперегреватель

Таблица 27 – Входные параметры для Ш1

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{Ш1}$, °С.	900,978
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{Ш1}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8236,1
Температура на входе $t'_{Ш1}$, °С.	417,3
Энтальпия питательной воды $h'_{Ш1}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2512,319
Площадь подвесных труб $F_{Ш1}$, м ² .	3150
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{Ш1}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{хв}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{Ш1} = \frac{k \cdot F_{Ш1} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{Ш1} = \frac{D_{Ш1} \cdot (h''(t''_{Ш1}) - t'_{Ш1})}{B_p} \\ Q_{Ш1} = \varphi \cdot (H'_{Ш1} - H''_{Ш1}(\vartheta''_{Ш1}) + \Delta\alpha_{пр} \cdot H_{хв}) \end{array} \right. \quad (66)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{63,9 \cdot 3150 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 417,3) + (900,978 - t''_{\text{ш1}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 417,3)}{(900,978 - t''_{\text{ш1}})}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - 417,3)}{137,429} \\ Q_{\text{ш1}} = 0,9981 \cdot (8236,1 - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (67)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш1}} &= 650,82 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш1}} &= 836,32 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{ш1}} &= 430,04 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 444,35 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.11 Расчет второй ширмы

Таблица 28 – Входные параметры для Ш2

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш2}}$, $^{\circ}\text{C}$.	1088
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш2}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	10138,863
Температура на входе $t'_{\text{ш2}}$, $^{\circ}\text{C}$.	430,04
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш2}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2765,9
Площадь подвесных труб $F_{\text{ш2}}$, м^2 .	6340
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш2}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{III2} = \frac{k \cdot F_{III2} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_M}{2,3 \cdot lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}} \\ Q_{III2} = \frac{D_{III2} \cdot (h''(t''_{III2}) - t'_{III2})}{B_p} \\ Q_{III2} = \varphi \cdot (H'_{III2} - H''_{III2}(\vartheta''_{III2}) + \Delta \alpha_{пр} \cdot H_{хв}) \end{array} \right. \quad (68)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{III2} = \frac{70 \cdot 6340 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{III2} - 430,04) + (1088 - t''_{III2})}{2,3 \cdot lg \frac{(\vartheta''_{III2} - 430,04)}{(1088 - t''_{III2})}} \\ Q_{III2} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{III2}) - 430,04)}{137,429} \\ Q_{III2} = 0,9981 \cdot (10138,863 - H''_{III2}(\vartheta''_{III2}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (69)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{III2} &= 1720,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{III2} &= 919,04 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{III2} &= 495,64 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 532,69 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

3.12 Расчет третьей ширмы

Таблица 29 – Входные параметры для ШЗ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером ϑ'_{III3} , $^\circ\text{C}$.	919,04
Энтальпия газов перед экономайзером H'_{III3} , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8970,5
Температура на входе t'_{III3} , $^\circ\text{C}$.	495,64
Энтальпия питательной воды h'_{III3} , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3119,84

Окончание таблицы 29

Площадь подвесных труб $F_{\text{шз}}, \text{м}^2$.	3670
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{шз}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{шз}} = \frac{k \cdot F_{\text{шз}} \cdot \Delta t}{B_{\text{р}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{г}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{шз}} = \frac{D_{\text{шз}} \cdot (h''(t''_{\text{шз}}) - t'_{\text{шз}})}{B_{\text{р}}} \\ Q_{\text{шз}} = \varphi \cdot (H'_{\text{шз}} - H''_{\text{шз}}(\vartheta''_{\text{шз}})) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}} \end{array} \right. \quad (70)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{шз}} = \frac{70 \cdot 3670 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 495,64) + (968,675 - t''_{\text{шз}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 495,64)}{(973,6 - t''_{\text{шз}})}} \\ Q_{\text{шз}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{шз}}) - 495,64)}{137,429} \\ Q_{\text{шз}} = 0,9981 \cdot (8970,52 - H''_{\text{шз}}(\vartheta''_{\text{шз}})) + 0,02 \cdot 224,89 \end{array} \right. \quad (71)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{шз}} &= 737,47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{шз}} &= 900,98 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{шз}} &= 534,86 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 394,5 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

3.13 Впрыск после третьей ширмы

$$h_{\text{впр}} = \frac{D_{\text{впр}} \cdot h_{\text{пв}} + D_{\text{ширм}} \cdot h''_{\text{ШЗ}}}{D_{\text{впр}} + D_{\text{ШЗ}}} \quad (72)$$

$$h_{\text{впр}} = \frac{53 \cdot 1200 + 1325 \cdot 3276,62}{53 + 1325} = 3192,13 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после впрыска $t_{\text{впр}} = 512 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.14 Расчет первичного конвективного пароперегревателя

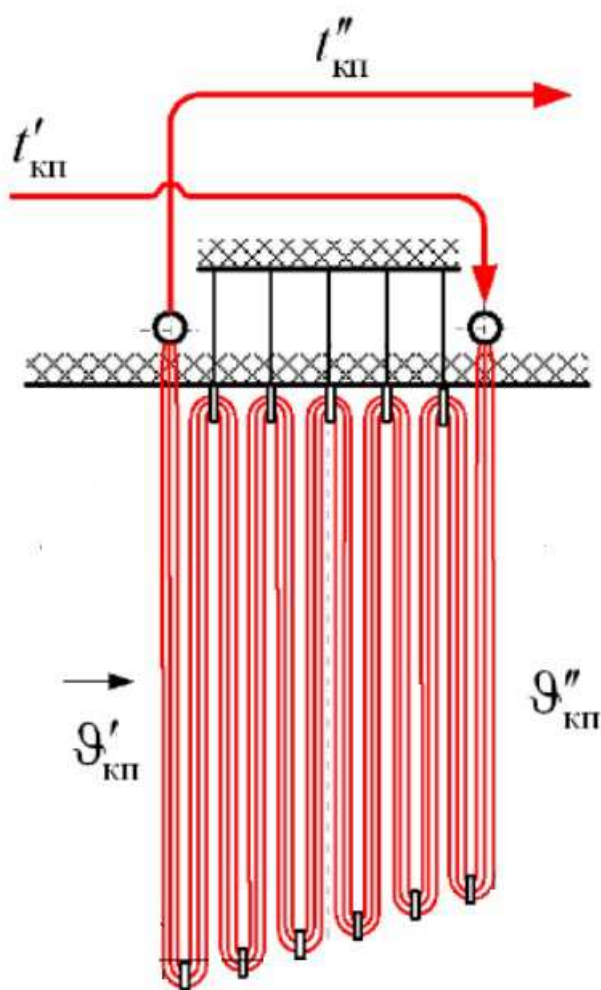


Рисунок 16 – Конвективный пароперегреватель

Таблица 30 – Входные параметры для КПП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КПП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	762,56

Окончание таблицы 30

Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КПП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6856,638
Температура на входе $t'_{\text{КПП}}$, °С.	512
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КПП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3192,13
Площадь подвесных труб $F_{\text{КПП}}$, м ² .	8770
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КПП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КПП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{D_{\text{КПП}} \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - t'_{\text{КПП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КПП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КПП}} - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (73)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{77,5 \cdot 8770 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 512) + (762,56 - t''_{\text{КПП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 512)}{(762,56 - t''_{\text{КПП}})}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - 512)}{137,429} \\ Q_{\text{КПП}} = 0,9981 \cdot (6856,64 - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (74)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{КПП}} = 894,07 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{КПП}} = 677,79 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t''_{\text{КПП}} = 545 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 180,78 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3.15 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя

Таблица 31 – Входные параметры для КВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	677,79
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	5965,36
Температура на входе $t'_{\text{КВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	289
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2933,747
Площадь подвесных труб $F_{\text{КВП}}$, м^2 .	19250
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{D_{\text{КВП}} \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - t'_{\text{КВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КВП}} - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (75)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{68 \cdot 19250 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289) + (677,79 - t''_{\text{КВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289)}{(677,79 - t''_{\text{КВП}})}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - 289)}{137,429} \\ Q_{\text{КВП}} = 0,9981 \cdot (5965,36 - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (76)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КВП}} &= 1847,57 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КВП}} &= 476,02 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{КВП}} &= 477,14 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 193,972 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.16 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя

Таблица 32 – Входные параметры для ШВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	836,32
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	7675,67
Температура на входе $t'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	477,14
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3394,679
Площадь подвесных труб $F_{\text{ШВП}}$, м^2 .	5630
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ШВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{D_{\text{ШВП}} \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - t'_{\text{ШВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ШВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ШВП}} - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (77)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{65 \cdot 5630 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 477,14) + (836,32 - t''_{\text{ШВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 477,14)}{(836,32 - t''_{\text{ШВП}})}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - 477,14)}{137,429} \\ Q_{\text{ШВП}} = 0,9981 \cdot (7675,67 - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (78)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ШВП}} = 757,52 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ШВП}} = 769,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t''_{\text{ШВП}} = 545 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 284,48 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

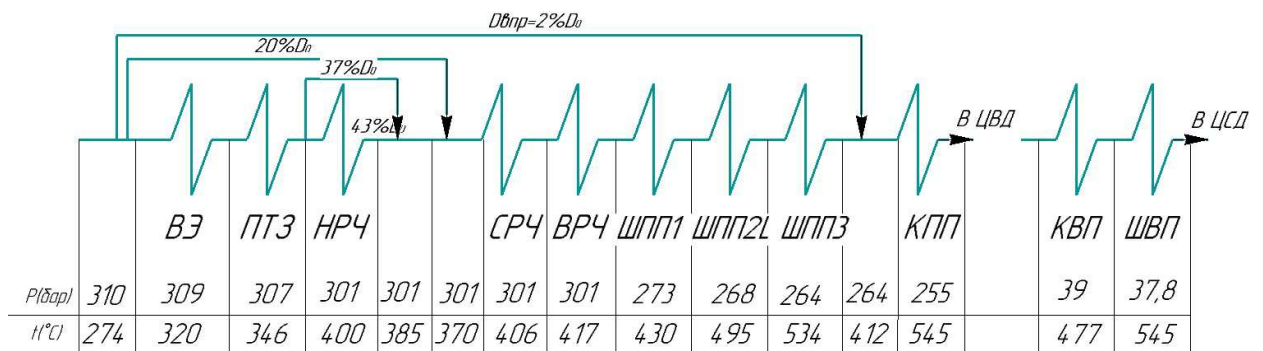


Рисунок 17 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

3.17 Расчет третьего варианта реконструкции

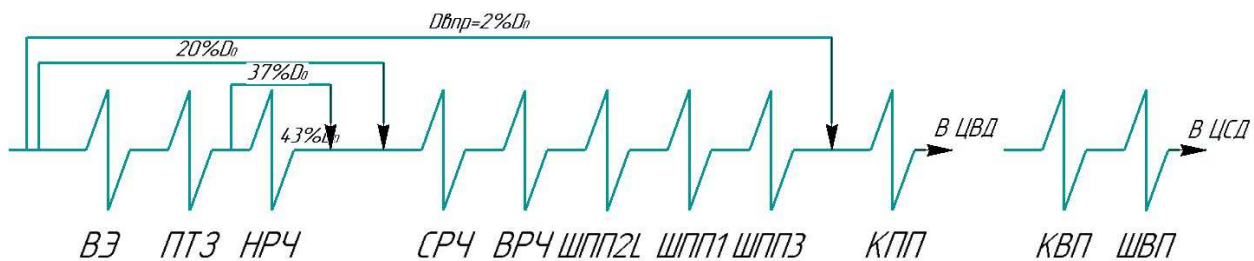


Рисунок 18 – Схема первичного и вторичного тракта до реконструкции

Третий вариант реконструкции заключается в замене ШПП-2 на ШПП-2Lс подключении ШПП-2L после ВРЧ, что дает сделать ШПП-2L «холодным пакетом».

3.18 Расчет второй ширмы

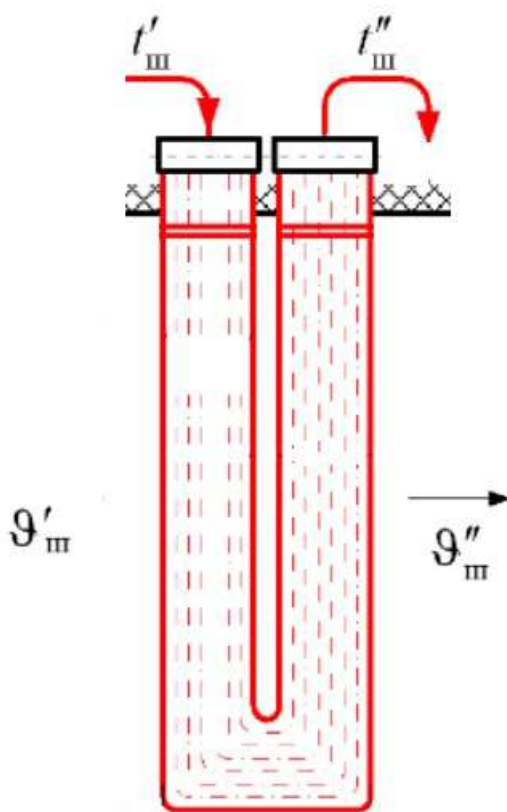


Рисунок 19 – Ширмовый пароперегреватель

Таблица 33 – Входные параметры для Ш2

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{Ш2}$, °С.	1088
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{Ш2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	10138,863
Температура на входе $t'_{Ш2}$, °С.	417,3
Энтальпия питательной воды $h'_{Ш2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2512,32
Площадь подвесных труб $F_{Ш2}$, м ² .	6340
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{пр}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{Ш2}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{хв}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{Ш2} = \frac{k \cdot F_{Ш2} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{Ш2} = \frac{D_{Ш2} \cdot (h''(t''_{Ш2}) - t'_{Ш2})}{B_p} \\ Q_{Ш2} = \varphi \cdot (H'_{Ш2} - H''_{Ш2}(\vartheta''_{Ш2}) + \Delta\alpha_{пр} \cdot H_{хв}) \end{array} \right. \quad (79)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш2}} = \frac{70 \cdot 6340 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 417,3) + (1088 - t''_{\text{ш2}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш2}} - 417,3)}{(1088 - t''_{\text{ш2}})}} \\ Q_{\text{ш2}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш2}}) - 417,3)}{137,429} \\ Q_{\text{ш2}} = 0,9981 \cdot (10138,863 - H''_{\text{ш2}}(\vartheta''_{\text{ш2}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (80)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш2}} &= 1809,557 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш2}} &= 910,24 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{ш2}} &= 448,52 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 560,35 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.19 Расчет первой ширмы

Таблица 34 – Входные параметры для Ш1

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш1}}$, $^{\circ}\text{C}$.	842,63
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш1}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	7651,711
Температура на входе $t'_{\text{ш1}}$, $^{\circ}\text{C}$.	448,52
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш1}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2884,72
Площадь подвесных труб $F_{\text{ш1}}$, м^2 .	3150
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ш1}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{k \cdot F_{\text{ш1}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{D_{\text{ш1}} \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - t'_{\text{ш1}})}{B_p} \\ Q_{\text{ш1}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ш1}} - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (81)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ш1}} = \frac{63,9 \cdot 3150 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 448,52) + (842,63 - t''_{\text{ш1}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ш1}} - 448,52)}{(842,63 - t''_{\text{ш1}})}} \\ Q_{\text{ш1}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{ш1}}) - 448,52)}{137,429} \\ Q_{\text{ш1}} = 0,9981 \cdot (7651,7 - H''_{\text{ш1}}(\vartheta''_{\text{ш1}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (82)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ш1}} &= 506 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{ш1}} &= 792,44 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{ш1}} &= 492,12 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 345,48 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

3.20 Расчет третьей ширмы

Таблица 35 – Входные параметры для ШЗ

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ш3}}$, $^\circ\text{C}$.	910,24
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ш3}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	8330,355
Температура на входе $t'_{\text{ш3}}$, $^\circ\text{C}$.	492,12
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ш3}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3105,546

Окончание таблицы 35

Площадь подвесных труб $F_{\text{шз}}, \text{м}^2$.	3670
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{шз}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{шз}} = \frac{k \cdot F_{\text{шз}} \cdot \Delta t}{B_{\text{р}}} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{г}} + \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \\ Q_{\text{шз}} = \frac{D_{\text{шз}} \cdot (h''(t''_{\text{шз}}) - t'_{\text{шз}})}{B_{\text{р}}} \\ Q_{\text{шз}} = \varphi \cdot (H'_{\text{шз}} - H''_{\text{шз}}(\vartheta''_{\text{шз}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (83)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{шз}} = \frac{70 \cdot 3670 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 492,12) + (910,24 - t''_{\text{шз}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{шз}} - 492,12)}{(910,24 - t''_{\text{шз}})}} \\ Q_{\text{шз}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{шз}}) - 492,12)}{137,429} \\ Q_{\text{шз}} = 0,9981 \cdot (8330,355 - H''_{\text{шз}}(\vartheta''_{\text{шз}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (84)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{шз}} &= 681,62 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{шз}} &= 842,65 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t''_{\text{шз}} &= 527,48 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \Delta t &= 364,63 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

3.21 Впрыск после третьей ширмы

$$h_{\text{впр}} = \frac{D_{\text{впр}} \cdot h_{\text{пв}} + D_{\text{ширм}} \cdot h''_{\text{ШЗ}}}{D_{\text{впр}} + D_{\text{ШЗ}}} \quad (85)$$

$$h_{\text{впр}} = \frac{53 \cdot 1200 + 1325 \cdot 3245,34}{53 + 1325} = 3166,864 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Получаем температуру после впрыска $t_{\text{впр}} = 505 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.22 Расчет первичного конвективного пароперегревателя

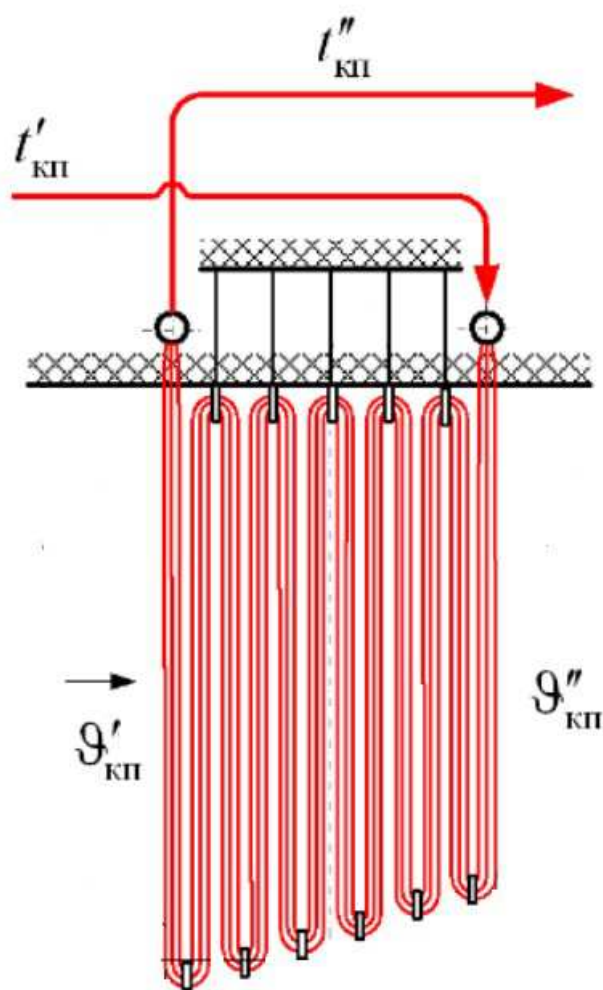


Рисунок 20 – Конвективный пароперегреватель

Таблица 36 – Входные параметры для КПП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КПП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	721,3

Окончание таблицы 36

Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КПП}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	6450,76
Температура на входе $t'_{\text{КПП}}, ^\circ\text{C}$.	505
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КПП}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3166,86
Площадь подвесных труб $F_{\text{КПП}}, \text{м}^2$.	8770
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КПП}}, \frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2650
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КПП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{D_{\text{КПП}} \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - t'_{\text{КПП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КПП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КПП}} - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (86)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КПП}} = \frac{77,5 \cdot 8770 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 505) + (721,3 - t''_{\text{КПП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КПП}} - 505)}{(721,3 - t''_{\text{КПП}})}} \\ Q_{\text{КПП}} = \frac{2650 \cdot (h''(t''_{\text{КПП}}) - 505)}{137,429} \\ Q_{\text{КПП}} = 0,9981 \cdot (6450,76 - H''_{\text{КПП}}(\vartheta''_{\text{КПП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (87)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{КПП}} = 776,968 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{КПП}} = 649,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t''_{\text{КПП}} = 545 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 157 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3.23 Расчет вторичного конвективного пароперегревателя

Таблица 37 – Входные параметры для КВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{КВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	649,43
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	5676,82
Температура на входе $t'_{\text{КВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	289
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	2933,747
Площадь подвесных труб $F_{\text{КВП}}$, м^2 .	19250
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{КВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{КВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{D_{\text{КВП}} \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - t'_{\text{КВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{КВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{КВП}} - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (88)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{КВП}} = \frac{68 \cdot 19250 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289) + (649,43 - t''_{\text{КВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{КВП}} - 289)}{(649,43 - t''_{\text{КВП}})}} \\ Q_{\text{КВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{КВП}}) - 289)}{137,429} \\ Q_{\text{КВП}} = 0,9981 \cdot (5676,82 - H''_{\text{КВП}}(\vartheta''_{\text{КВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (89)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КВП}} &= 1707,43 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \\ \vartheta''_{\text{КВП}} &= 459,84 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t''_{\text{КВП}} &= 461,89 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t &= 179,26 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

3.24 Расчет вторичного ширмового пароперегревателя

Таблица 38 – Входные параметры для ШВП

Наименование величины	Значение величины
Температура газов перед экономайзером $\vartheta'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	792,44
Энтальпия газов перед экономайзером $H'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	7149,24
Температура на входе $t'_{\text{ШВП}}$, $^{\circ}\text{C}$.	461,89
Энтальпия питательной воды $h'_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	3362,76
Площадь подвесных труб $F_{\text{ШВП}}$, м^2 .	5630
Коэффициент сохранения тепла φ .	0,9981
Присос холодного воздуха $\Delta\alpha_{\text{пр}}$.	0,02
Расход пара через экономайзер $D_{\text{ШВП}}$, $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$.	2186
Энтальпия холодного воздуха $H_{\text{хв}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.	224,89

Подставляем уравнения в блок схему:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{k \cdot F_{\text{ШВП}} \cdot \Delta t}{B_p} \\ \Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{D_{\text{ШВП}} \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - t'_{\text{ШВП}})}{B_p} \\ Q_{\text{ШВП}} = \varphi \cdot (H'_{\text{ШВП}} - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + \Delta \alpha_{\text{пр}} \cdot H_{\text{хв}}) \end{array} \right. \quad (90)$$

Подставляя в эти уравнения значения величин, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ШВП}} = \frac{65 \cdot 5630 \cdot \Delta t}{137,429} \\ \Delta t = \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 461,89) + (792,44 - t''_{\text{ШВП}})}{2,3 \cdot \lg \frac{(\vartheta''_{\text{ШВП}} - 461,89)}{(792,44 - t''_{\text{ШВП}})}} \\ Q_{\text{ШВП}} = \frac{2186 \cdot (h''(t''_{\text{ШВП}}) - 461,89)}{137,429} \\ Q_{\text{ШВП}} = 0,9981 \cdot (7149,24 - H''_{\text{ШВП}}(\vartheta''_{\text{ШВП}}) + 0,02 \cdot 224,89) \end{array} \right. \quad (91)$$

Решая эти уравнения, находим:

$$Q_{\text{ШВП}} = 686,71 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\vartheta''_{\text{ШВП}} = 722,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t''_{\text{ШВП}} = 545 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 257,886 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

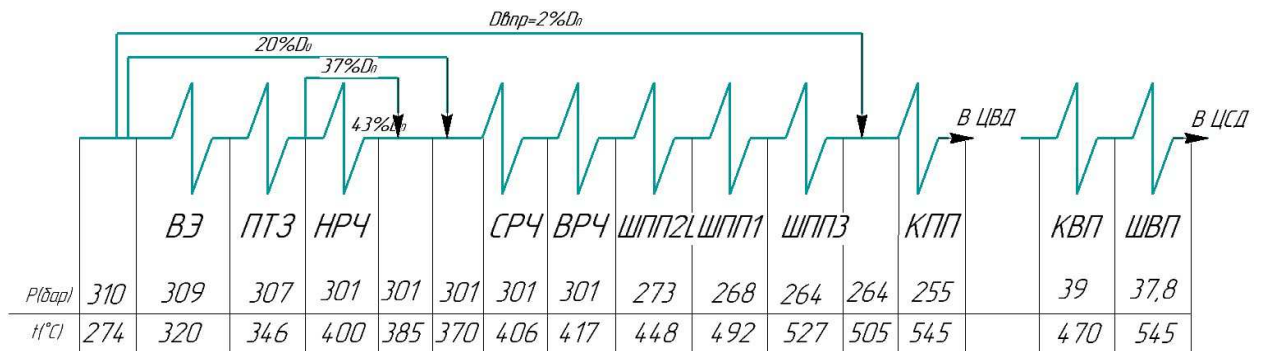


Рисунок 21 – Конвективный пароперегреватель

4 Аэродинамический расчет котельного агрегата

4.1 Расчет газового тракта

Целью расчета является проверка необходимого типоразмера дымососа на основе определения производительности тяговой системы и перепада полных давлений в газовом тракте.

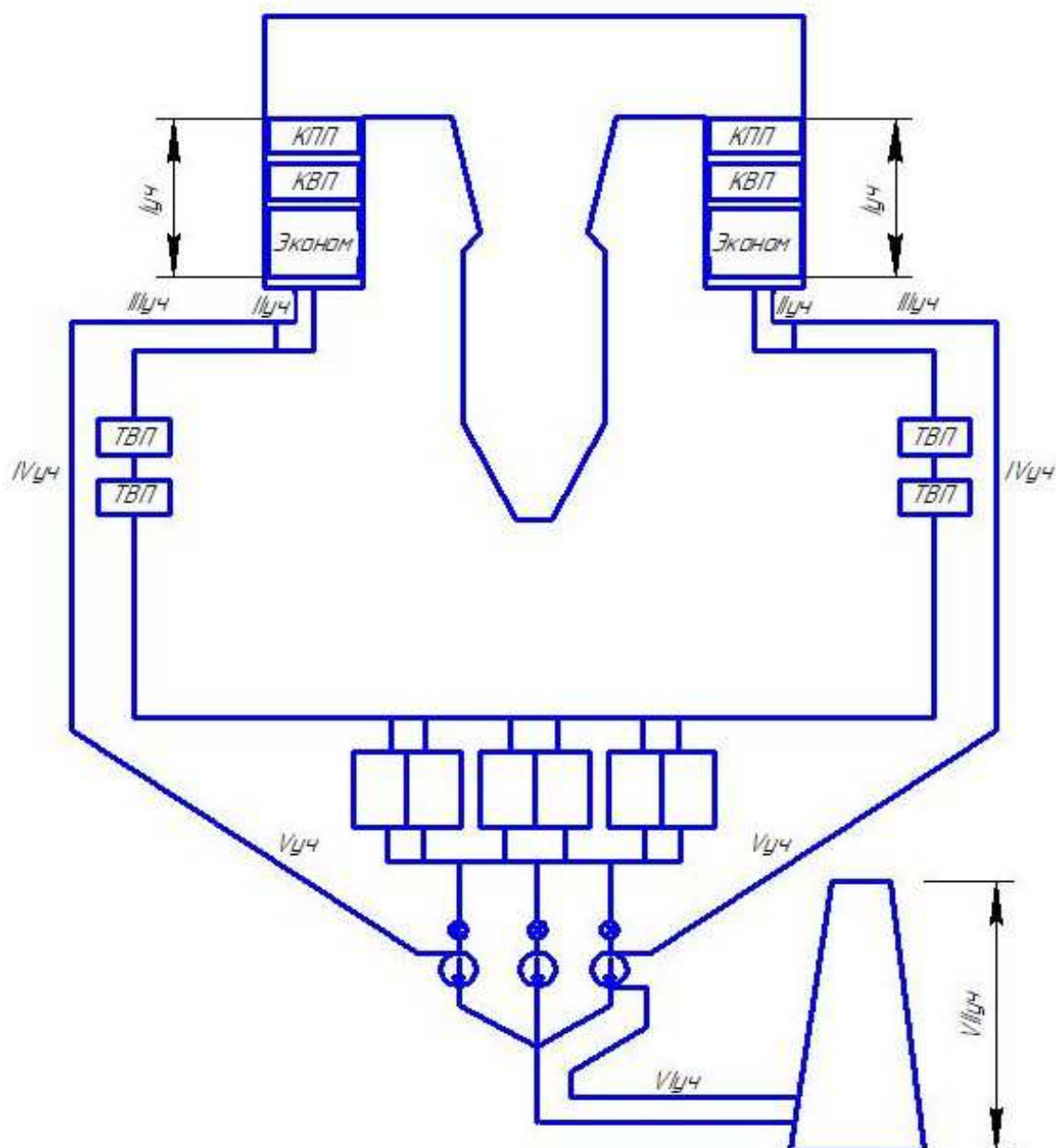


Рисунок 22 – Схема газового тракта котла

Сопротивление газового тракта котельного агрегата с уравновешанной тягой складывается из сопротивления трубчатых поверхностей нагрева, расположенных в газоходах, местных сопротивлений, сопротивления трения при движении в газоходах как в пределах парогенератора, так и вне его, самотяги.

Таблица 39 – Исходные данные для выполнения расчета газового тракта

Наименование	Обозначение	Поворотная камера	КПП	КВП	ВЭК	ТВП	Газоход ТВП-электрофильтр	Газоход электрофильтр-дымосос	Дымосос	Дымовая труба
Диаметр труб, мм	$\frac{d_n}{d_{вн}}$	-	$\frac{38}{-}$	$\frac{57}{-}$	$\frac{42}{-}$	$\frac{40}{36,8}$	-	-	-	-
Шаги труб, мм	$\frac{S_1}{S_2}$	-	$\frac{204}{50}$	$\frac{204}{80}$	$\frac{126}{61,5}$	$\frac{54}{40,5}$	-	-	-	-
Относительные шаги труб	$\sigma_1 = \frac{S_1}{d}$ $\sigma_2 = \frac{S_2}{d}$	-	$\frac{5,37}{1,31}$	$\frac{3,58}{1,4}$	$\frac{30}{1,465}$	$\frac{1,35}{1,01}$	-	-	-	-
Количество рядов труб по ходу газов (воздуха)	Z	-	34	60	36	156	-	-	-	-
Сечение для прохода газов и воздуха, м ²	$\frac{F_z}{F_v}$	-	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{261}{-}$	$\frac{236}{-}$	$\frac{114}{129}$	-	-	-	-
Температура газов $\frac{t_{на входе}}{t_{на выходе}}, ^\circ\text{C}$	$\frac{t_1}{t_2}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$	$\frac{294,4}{-}$
Температура воздуха $\frac{t_{на входе}}{t_{на выходе}}, ^\circ\text{C}$	$\frac{t_1}{t_2}$	-	-	-	-	$\frac{40}{335}$	-	-	-	-
Средний объем дымовых газов, м ³ /кг	V _{ср}	7,61	7,64	7,69	7,78	6,54	6,72	7,37	7,48	8,53

Окончание таблицы 39

Средний секундный объем дымовых газов, $\frac{м^3}{с}$	$V_{сек}$	4816	3651	3257	2765	1705	1370	1460	1480	1647
Средняя скорость $\frac{газов}{воздуха}, \frac{м}{с}$	$\frac{W_z}{W_g}$	$\frac{10,65}{-}$	$\frac{12,4}{-}$	$\frac{12,5}{-}$	$\frac{10,7}{-}$	$\frac{15}{10,9}$	-	-	-	-
Плотность газов в газоходе	ρ	0,029	0,038	0,043	0,051	0,07	0,089	0,09	0,092	0,092

Таблица 40 – Расчет газового тракта.

Наименование сопротивления	Геометрические данные	Скорость $W = \frac{V}{F} \cdot \frac{m}{c}$	Коэффициент сопротивления ζ	Сопротивление $\Delta h = \zeta \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho$
Разряжение на выходе из топки	Принято			2
Поворот на 90° при выходе из топки	$F_1 = 11,54 \cdot 23,08 = 266,3 \text{ м}^2$ $F_2 = 8,75 \cdot 23,08 = 201,95 \text{ м}^2$	$\frac{4816}{2 \cdot 201,95} = 11,9$	1,4	$1,4 \cdot \frac{11,9^2}{2} \cdot 0,029 = 2,9$
Поворот на 90° при выходе в конвективную шахту	$F_1 = 8,75 \cdot 23,08 \cdot 2 = 403,9 \text{ м}^2$ $F_2 = 8,75 \cdot 23,08 \cdot 2 = 400,7 \text{ м}^2$	$\frac{3779}{400,7} = 9,4$	1,4	$1,4 \cdot \frac{9,4^2}{2} \cdot 0,037 = 2,9$
Конвективный пароперегреватель	$F = 294,4 \text{ м}^2$	$\frac{3651}{294,4} = 12,4$	0,162	$0,162 \cdot \frac{12,4^2}{2} \cdot 0,038 \cdot (34 + 1) \cdot 1,2 = 19,9$
Конвективный вторичный пароперегреватель	$F_2 = 261 \text{ м}^2$	$\frac{3257}{261} = 12,5$	0,285	$0,285 \cdot \frac{12,5^2}{2} \cdot 0,0424 \cdot (60 + 1) \cdot 1,2 = 69,1$
Водяной экономайзер	$F_2 = 236 \text{ м}^2$	$\frac{2765}{236} = 11,7$	0,35	$0,35 \cdot \frac{11,7^2}{2} \cdot 0,051 \cdot (36 + 1) \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 59,7$
Сопротивление конвективной шахты без учета самотяги	Δh_I			$2,9 + 2,9 + 19,9 + 69,1 + 59,7 = 154,5$
Самотяга конвективной шахты	$t_{cp} = 581 \text{ °C}$ $\rho_1 = 0,043$ $\rho_2 = 0,119$			$30 \cdot 9,8 \cdot (0,119 - 0,043) = -22,3$
Два резких поворота под конвективной шахтой на 37°	$F = 72 \text{ м}^2$	$\frac{2535}{72 \cdot 2} = 17,6$	$1,4 \cdot 0,2 = 0,28$	$2 \cdot 0,28 \cdot \frac{17,6^2}{2} \cdot 0,056 = 4,9$
Поворот на 120°	$F = 7 \cdot 3,1 \cdot 2 \cdot 2 = 86,8 \text{ м}^2$	$\frac{2535}{86,8 \cdot 2} = 14,6$	$0,9 \cdot 1,15 \cdot 1,16 = 1,2$	$1,2 \cdot \frac{14,6^2}{2} \cdot 0,056 = 7,2$
Поворот на 50°	$F = 6 \cdot 3,1 \cdot 2 \cdot 2 = 74,4 \text{ м}^2$	$\frac{2535}{74,4 \cdot 2} = 17$	$1,4 \cdot 0,3 \cdot 1,07 = 0,45$	$0,45 \cdot \frac{17^2}{2} \cdot 0,056 = 3,6$

Продолжение таблицы 40

Изменение сечения	$F = 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 48 \text{ м}$	$\frac{2535}{48 \cdot 2} = 26,4$	0,18	$0,18 \cdot \frac{26,4^2}{2} \cdot 0,056 = 3,5$
Два поворота на 5°	$F = 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 48 \text{ м}$	26,4	$1,4 \cdot 0,03 \cdot 0,4 = 0,017$	$2 \cdot 0,017 \cdot \frac{26,4^2}{2} \cdot 0,056 = 0,7$
Поворот на 75°	$F = 6 \cdot 9,6 \cdot 2 = 115,2 \text{ м}^2$	$\frac{2535}{115,2} = 22$	$0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,61$	$0,61 \cdot \frac{22^2}{2} \cdot 0,056 = 8,3$
Поворот на 65°	$F = 115,2 \text{ м}^2$	22	$0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,61$	$0,54 \cdot \frac{22^2}{2} \cdot 0,056 = 7,3$
Два поворота на 35°	$F = 7 \cdot 9,6 \cdot 2 = 134,4 \text{ м}^2$	15,2	$1,4 \cdot 0,17 \cdot 1,2 = 0,29$	$2 \cdot 0,29 \cdot \frac{15,2^2}{2} \cdot 0,057 = 3,8$
Поворот на 80° с изменением сечения	$F = 134,4 \text{ м}^2$	15,2	$1,05 \cdot 0,75 \cdot 0,7 = 0,55$	$0,55 \cdot \frac{15,2^2}{2} \cdot 0,057 = 3,6$
Суммарное сопротивление участка от экономайзера до ТВП	$\Delta h_{II,III}$			$4,9 + 7,2 + 3,6 + 3,5 + 0,7 + 8,3 + 7,3 + 3,8 + 3,6 = 46,1$
Сопротивление трения в трубах ТВП	$F = 114 \text{ м}^2$	$\frac{1705}{114} = 15$		$1,02 \cdot 7,4 \cdot 13,2 = 99,6$
Сопротивление входов в трубы ТВП и выходов из них	$\frac{114}{3,38 \cdot 4 \cdot 10,504 \cdot 2} = 0,4$	15	$(0,3 + 0,4) \cdot 2 = 1,4$	$1,4 \cdot \frac{15^2}{2} \cdot 0,07 = 11$
Сопротивление ТВП	Δh_{IV}			$1,1 \cdot (99,6 + 11) = 121,7$
Короб под ТВП	$F = 3,38 \cdot 4,5 \cdot 16 = 243,36 \text{ м}^2$	$\frac{1370}{243,36} = 5,6$	1,9	$1,9 \cdot \frac{5,6^2}{2} \cdot 0,089 = 2,7$
Сопротивление от входа в раздающий коллектор перед электрофильтром	$F_{ex} = (7,33 + 1,71) \cdot 4,815 \cdot 2 = 87,06 \text{ м}^2$	$\frac{1370}{87,06} = 15,7$	7,43	$7,43 \cdot \frac{15,7^2}{2} \cdot 0,089 = 81,7$
Суммарное сопротивление участка от ТВП до дымососа	Δh_V			$2,7 + 81,7 = 84,4$

Продолжение таблицы 40

Расширение за дымососом	$F_1 = (0,785 \cdot 5,3^2 - 0,785 \cdot 2,7^2) \cdot 3 = 48,99 \text{ м}^2$ $F_2 = 0,785 \cdot 5,3^2 \cdot 3 = 66,15 \text{ м}^2$	$\frac{1480}{48,99} = 30,2$	0,07	$0,07 \cdot \frac{30,2^2}{2} \cdot 0,092 = 2,9$
Поворот на 38°	$F = 66,15 \text{ м}^2$	$\frac{1480}{66,15} = 22,4$	$0,7 \cdot 0,55 = 0,385$	$0,385 \cdot \frac{22,4^2}{2} \cdot 0,092 = 8,9$
Поворот на 38° с изменением сечения	$F_1 = 66,15 \text{ м}^2$ $F_2 = 5,8 \cdot 8,87 \cdot 3 = 154,3 \text{ м}^2$	$\frac{1480}{66,15} = 22,4$	$1,05 \cdot 0,2 = 0,21$	$0,21 \cdot \frac{22,4^2}{2} \cdot 0,092 = 4,8$
Поворот на 90°	$F = 154,3 \text{ м}^2$	$\frac{1480}{154,3} = 9,6$	$0,25 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,24$	$0,24 \cdot \frac{9,6^2}{2} \cdot 0,092 = 1$
Поворот на 30° с изменением сечения	$F_1 = 154,3 \text{ м}^2$ $F_2 = 8,81 \cdot 8,96 = 79,5 \text{ м}^2$	$\frac{1480}{79,5} = 18,6$	$0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,15 = 0,07$	$0,07 \cdot \frac{18,6^2}{2} \cdot 0,092 = 1,1$
Поворот на 30°	$F = 8,81 \cdot 8,96 = 79,5 \text{ м}^2$	18,6	$1,4 \cdot 0,4 \cdot 0,15 = 0,08$	$0,08 \cdot \frac{18,6^2}{2} \cdot 0,092 = 1,3$
Сопротивление трения участка VI	$F = 79,5 \text{ м}^2$	18,6	$\frac{0,03 \cdot 90}{8,9} = 0,3$	$0,3 \cdot \frac{18,6^2}{2} \cdot 0,092 = 4,8$
Суммарное сопротивление участка от дымососа до дымовой трубы	Δh_{VI}			$2,9 + 8,9 + 4,8 + 1 + 1,1 + 1,3 + 4,8 = 24,8$
Вход в дымовую трубу	$F_{\text{вх}} = 12 \cdot 14 \cdot 0,5 = 84 \text{ м}^2$	$\frac{1647}{84} = 19,6$	0,62	$0,62 \cdot \frac{19,6^2}{2} \cdot 0,092 = 11$
Выход из дымовой трубы	$F_{\text{вых}} = 0,785 \cdot 16,2^2 \cdot 0,25 = 51,5 \text{ м}^2$	$\frac{1647}{51,5} = 32$	1	$1 \cdot \frac{32^2}{2} \cdot 0,092 = 47,1$
Трение в дымовой трубе	$\lambda = 0,05$ $i = 0,02$	32		$\Delta h_{\text{тр}}$ $= \frac{\lambda}{8i} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho$ $= \frac{0,05}{8 \cdot 0,02} \cdot \frac{32^2}{2} \cdot 0,092 = 14,7$
Суммарное сопротивление дымовой трубы	Δh_{VII}			$11 + 47,1 + 14,7 = 72,8$

Окончание таблицы 40

Самотяга участка от конвективной шахты до дымососа	$H = 54,8 \text{ м}$ $\rho_1 = 0,043$ $\rho_2 = 0,119$			$-54,8 \cdot 9,8 \cdot (0,119 - 0,07) = -26,3$
Самотяга дымовой трубы	$H_{mp} = 353,5 \text{ м}$ $\rho_1 = 0,092$ $\rho_2 = 0,123$			$353,5 \cdot 9,8 \cdot (0,123 - 0,092) = 107,4$
Суммарная самотяга газового тракта мм.в.ст		$H_c = -22,3 - 26,3 + 107,4 = 58,8$		
Суммарное сопротивление газового тракта без учета самотяги и поправки на барометрическое давление мм.в.ст		$\sum \Delta h = 154,5 + 46,1 + 121,7 + 84,4 + 24,8 + 72,8 = 504$		
Разряжение на входе в дымосос с учетом самотяги, мм.в.ст		$\Delta h_{\text{вс}} = 154,5 + 46,1 + 121,7 + 84,4 - (-2 - 22,3 - 26,3) = 457$		
Эффективное барометрическое давление, мм.рт.ст		$h_{\text{эф}} = h_{\text{бар}} - \frac{\Delta h_{\text{вс}}}{2 \cdot 13,6} = 735 - \frac{457}{2 \cdot 13,6} = 718$		
Сопротивление газового тракта с поправкой на $h_{\text{бар}}^{\text{эф}}$ и учетом самотяги, мм.в.ст		$\Delta H_{\Pi} = \sum \Delta h \cdot \frac{760}{h_{\text{эф}}} - H_c = 504 \cdot \frac{760}{718} - 58,8 = 477$		

4.2 Проверка типоразмера дымососа

Проверка сводится к сравнению результатов, обеспечивающие необходимую производительность и разрежение, определенные при расчете газового тракта, и потребляющей наименьшее количество энергии при эксплуатации.

Изменение трех дымососов типа ДОД-43-500 при $n = 500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, не нужна.

Таблица 41 – Расчет дымососа

Производительность одного дымососа с учетом условий всасывания, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$.	$Q_p = \beta_1 \frac{V_{\text{сек}} \cdot 3600}{Z} \cdot \frac{760}{h_{\text{бар}} - \frac{\beta_1 \cdot H_{\text{вх}}}{13,6}}$ $= 1,1 \frac{1480 \cdot 3600}{3} \cdot \frac{760}{735 - \frac{1,1 \cdot 457}{13,6}}$ $= 2127130$
Температура газов у дымососа, °С.	$\vartheta_d = 126$
Расчетный полный напор дымососа, мм.в.ст.	$H_p = \beta_2 \cdot \Delta H_{\Pi} = 1,2 \cdot 477 = 572$
Расчетная мощность электродвигателя, кВт.	$N_p = \beta_3 \cdot \frac{Q_p \cdot H_p}{3670 \cdot \eta_a} = \frac{1,05 \cdot 2127130 \cdot 572}{3670 \cdot 79} = 4400$

4.3 Расчет воздушного тракта

Целью расчета является проверка необходимого типоразмера дутьевого вентилятора на основе определения производительности дутьевой системы и перепада полных давлений в воздушном тракте.

Таблица 42 – Исходные данные для выполнения расчета воздушного тракта

Наименование участка	Температура воздуха t_B , °C	Секундный расход воздуха $V_c = \frac{\alpha \cdot V_0 \cdot B \cdot (t_B + 273)}{3600 \cdot 273}$, $\frac{м^3}{с}$	Плотность воздуха $\rho = 0,132 \cdot \frac{273}{t_B + 273}$
Участок холодного воздуха до присадки избыточного воздуха	40	$\frac{(1,25 - 0,02 - 0,125 + 0,03) \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 40)}{3600 + 273} = 750,5$	$0,132 \cdot \frac{273}{40 + 273} = 0,115$
Участок от присадки избыточного воздуха до входа в ТВП	56	$\frac{(1,25 - 0,02 - 0,125 + 0,346) \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 56)}{3600 + 273} = 1029,4$	$0,132 \cdot \frac{273}{56 + 273} = 0,11$
ТВП (средние величины)	184	$\frac{\left(1,25 - 0,02 - 0,125 + \frac{0,03}{2} + 0,346\right) \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 184)}{3600 + 273} = 1415,4$	$0,132 \cdot \frac{273}{184 + 273} = 0,079$
Участок от ТВП до отбора воздуха на СИБ и мельницы	335	$\frac{(1,25 - 0,02 - 0,125 + 0,346) \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 335)}{3600 + 273} = 1793,3$	$0,132 \cdot \frac{273}{335 + 273} = 0,062$
Отбор воздуха на СИБ	335	$\frac{0,346 \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 335)}{3600 + 273} = 427,6$	0,062
Отбор воздуха на мельницы	335	$\frac{0,03 \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 335)}{3600 + 273} = 37,1$	0,062
Отбор воздуха для присадки в холодную воронку	335	$\frac{0,02 \cdot 4,26 \cdot 494744 \cdot (273 + 335)}{3600 + 273} = 24,7$	0,062
Участок после отборов до выхода в топку через горелки	335	$1793,3 - 427,6 - 37,1 - 24,7 = 1304$	0,062

Окончание таблицы 42

Наименование участка	Температура воздуха t_B , °C	Секундный расход воздуха $V_c = \frac{\alpha \cdot V_0 \cdot B \cdot (t_B + 273)}{3600 \cdot 273}$, $\frac{м^3}{с}$	Плотность воздуха $\rho = 0,132 \cdot \frac{273}{t_B + 273}$
Количество воздуха на охлаждение горелок не работающей мельницы	335	$\frac{1304}{8 \cdot 2} = 81,5$	0,062
Количество воздуха на блок горелок при семи работающих мельницах	335	$\frac{1304 - 81,5}{7} = 173,2$	0,062

Таблица 43 – Расчет воздушного тракта

Наименование сопротивления	Геометрические данные	Скорость $W = \frac{V}{F} \cdot \frac{м}{с}$	Коэффициент сопротивления ζ	Сопротивление $\Delta h = \zeta \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho$
Вход в стояк холодного воздуха	$F = 3 \cdot 10,5 \cdot 2 = 63 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{63} = 11,9$	0,2	$0,2 \cdot \frac{11,9^2}{2} \cdot 0,115 = 1,6$
Сопло Вентури	-	-	-	15(принято)
Сужение	$F_1 = 10,5 \cdot 3 = 31,5 \text{ м}^2$ $F_2 = 2 \cdot 3,18 \cdot 3,2 = 20,4 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 20,4} = 18,4$	0,18	$0,18 \cdot \frac{18,4^2}{2} \cdot 0,115 = 3,5$
Поворот на 75° с изменением сечения	$F_1 = 3,18 \cdot 3,2 = 10,2 \text{ м}^2$ $F_2 = 4,634 \cdot 3,2 = 14,8 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{4 \cdot 10,2} = 18,4$	$0,52 \cdot 0,9 = 0,47$	$0,47 \cdot \frac{18,4^2}{2} \cdot 0,115 = 9,2$
Шумоглушитель	-	-	-	26,2
Сужение	$F_1 = 14,8 \text{ м}^2$ $F_2 = 5,29 \cdot 1,68 = 8,89 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{4 \cdot 8,89} = 20,9$	0,17	$0,17 \cdot \frac{20,9^2}{2} \cdot 0,115 = 5,5$
Сопротивление трения I-го участка	-	-	-	$\Delta h_t = 63,2$
Поворот на 25° за ДВ	$F = 2,614 \cdot 3,492 = 9,1 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 9,1} = 41,2$	$1,4 \cdot 0,12 \cdot 0,96 = 0,16$	$0,16 \cdot \frac{41,2^2}{2} \cdot 0,115 = 15,6$
Диффузор за вентилятором	$F_1 = 9,1 \text{ м}^2$ $F_2 = 4 \cdot 3,26 = 13,04 \text{ м}^2$	41,2	$0,15 \cdot 0,65 = 0,1$	$0,1 \cdot \frac{41,2^2}{2} \cdot 0,115 = 9,8$
Поворот на 37° с изменением сечения	$F_1 = 13,04 \text{ м}^2$ $F_2 = 4 \cdot 3,435 = 13,74 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 13,04} = 28,4$	$0,31 \cdot 0,52 \cdot 0,95 = 0,153$	$0,153 \cdot \frac{28,4^2}{2} \cdot 0,115 = 7,3$
Поворот на 38° с изменением сечения	$F_1 = 4 \cdot 3,435 = 13,74 \text{ м}^2$ $F_2 = 4 \cdot 5,7 = 22,8 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 13,74} = 27,3$	$1,07 \cdot 0,2 \cdot 0,98 = 0,21$	$0,21 \cdot \frac{27,3^2}{2} \cdot 0,115 = 9$
Два клапана 2800x4000	$F = 2,8 \cdot 4 \cdot 2 = 22,4 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 22,4} = 16,8$	0,1	$0,1 \cdot \frac{16,8^2}{2} \cdot 0,115 = 1,6$
Смеситель холодного воздуха(с учетом поворота на 90° на входе)	$F_{\text{вх}} = 5,7 \cdot 4 = 22,8 \text{ м}^2$	$\frac{750,5}{2 \cdot 22,8} = 16,5$	0,78	$0,78 \cdot \frac{16,5^2}{2} \cdot 0,115 = 12,2$
Сопротивление трения II-го участка	$F = 5,7 \cdot 4 = 22,8 \text{ м}^2$ $L = 36 \text{ м}$	16,5	0,153	$0,153 \cdot \frac{16,5^2}{2} \cdot 0,115 = 2,4$

Продолжение таблицы 43

Суммарное сопротивление II-го участка				$\Delta h_{II} = 57,9$
Поворот на 90° с изменением сечения	$F_1 = 6,45 \cdot \frac{5,7}{4}$ $= 9,2 \text{ м}^2$ $F_2 = 2 \cdot 6,45$ $= 12,9 \text{ м}^2$	$\frac{1029,4}{2 \cdot 4 \cdot 9,2} = 14$	$0,4 \cdot 0,93$ $= 0,372$	$0,372 \cdot \frac{14^2}{2}$ $\cdot 0,11 = 4$
Поворот на 90°	$F = 6,45 \cdot 2$ $= 12,9 \text{ м}^2$	$\frac{1029,4}{2 \cdot 4 \cdot 12,9} = 10$	$0,27 \cdot 0,86$ $= 0,232$	$0,232 \cdot \frac{10^2}{2}$ $\cdot 0,11 = 1,3$
Поворот на 90° на входе в ТВП	$F_1 = 12,9 \text{ м}^2$ $F_2 = 10,48 \cdot 6,45$ $= 67,6 \text{ м}^2$	$\frac{1029,4}{2 \cdot 4 \cdot 12,9} = 10$	$1,05 \cdot 0,82$ $= 0,9$	$0,9 \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 0,11$ $= 5$
Сопротивление трения III-го участка	$F = 2 \cdot 6,45$ $= 12,9 \text{ м}^2$ $L = 20 \text{ м}$	$\frac{1029,4}{2 \cdot 4 \cdot 12,9} = 10$	$\frac{0,02 \cdot 20}{3,05}$ $= 0,13$	$0,13 \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 0,11$ $= 0,7$
Суммарное сопротивление III-го участка				11
Сопротивление трубной части ТВП		10,9		242,3
Поворот на 90° выход из 1-го хода ТВП	$F_1 = \frac{10,434}{2} \cdot 6,45$ $= 33,6 \text{ м}^2$ $F_2 = \frac{3}{2} \cdot 6,45$ $= 9,7 \text{ м}^2$	$\frac{1415,4}{2 \cdot 8 \cdot 9,7} = 9,1$	$0,53 \cdot 0,97$ $= 0,514$	$0,514 \cdot \frac{9,1^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 1,7$
Поворот на 90° с изменением сечения(диффузо)	$F_1 = \frac{3}{2} \cdot 6,45$ $= 9,7 \text{ м}^2$ $F_2 = 2,5 \cdot 6,45$ $= 16,1 \text{ м}^2$	9,1	$1,8 \cdot 1,07 \cdot 0,78$ $= 1,5$	$1,5 \cdot \frac{9,1^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 4,9$
Поворот на 90° с изменением сечения(конфузор)	$F_1 = 2,5 \cdot 6,45$ $= 16,1 \text{ м}^2$ $F_2 = 2,5 \cdot 2,6$ $= 6,5 \text{ м}^2$	$\frac{1415,4}{2 \cdot 8 \cdot 6,5} = 13,6$	$0,57 \cdot 1,08$ $= 0,616$	$0,616 \cdot \frac{13,6^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 4,5$
Поворот на 90° с изменением сечения(диффузо)	$F_1 = 2,5 \cdot 2,6$ $= 6,5 \text{ м}^2$ $F_2 = 2,5 \cdot 6,45$ $= 16,1 \text{ м}^2$	13,6	$1,8 \cdot 1,05$ $= 1,89$	$1,89 \cdot \frac{13,6^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 13,8$
Поворот на 90° с изменением сечения(конфузор)	$F_1 = 2,5 \cdot 6,45$ $= 16,1 \text{ м}^2$ $F_2 = 1,4 \cdot 6,45$ $= 9,03 \text{ м}^2$	$\frac{1415,4}{2 \cdot 8 \cdot 9,03} = 9,8$	$0,7 \cdot 0,86$ $= 0,602$	$0,602 \cdot \frac{9,8^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 2,3$

Продолжение таблицы 43

Поворот на 90° - вход в трубы 2-го хода ТВП	$F_1 = 1,4 \cdot 6,45$ $= 9,03 \text{ м}^2$ $F_2 = \frac{10,434}{2} \cdot 6,45$ $= 33,6 \text{ м}^2$	9,8	$1,05 \cdot 0,78$ $= 0,82$	$0,82 \cdot \frac{9,8^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 3,1$
Поворот на 90° - выход в трубы 2- го хода ТВП	$F_1 = \frac{10,434}{2} \cdot 6,56$ $= 34,2 \text{ м}^2$ $F_2 = \frac{3}{2} \cdot 6,56$ $= 9,84 \text{ м}^2$	$\frac{1793,3}{2 \cdot 8 \cdot 9,84}$ $= 11,4$	$0,53 \cdot 0,96$ $= 0,51$	$0,51 \cdot \frac{11,4^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 2,1$
Трение в перепускных коробах ТВП	$F = 2,5 \cdot 2,6$ $= 6,5 \text{ м}^2$ $L = 22 \text{ м}$	13,6	$\frac{0,02 \cdot 22}{2,5}$ $= 0,176$	$0,176 \cdot \frac{13,6^2}{2}$ $\cdot 0,079 = 1,3$
Суммарное сопротивление IV-го участка				290
Сужение	$F_1 = 3 \cdot 7,6$ $= 22,8 \text{ м}^2$ $F_2 = 3 \cdot (2,7 \cdot 2,7)$ $= 16,2 \text{ м}^2$	$\frac{1793,3}{4 \cdot 16,2} = 27,7$	0,15	$0,15 \cdot \frac{27,7^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 3,6$
Расширение	$F_1 = 16,2 \text{ м}^2$ $F_2 = 6,6 \cdot 3$ $= 19,8 \text{ м}^2$	27,7	0,04	$0,04 \cdot \frac{27,7^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 1$
Поворот – конфузор на 75°	$F_1 = 16,6 \cdot 3$ $= 19,8 \text{ м}^2$ $F_2 = 2,8 \cdot 6,6$ $= 18,48 \text{ м}^2$	$\frac{1793,3}{4 \cdot 18,48} = 24,1$	$0,27 \cdot 0,9 \cdot 0,85$ $= 0,21$	$0,21 \cdot \frac{24,3^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 3,8$

Продолжение таблицы 43

Поворот на 15°	$F = 2,3 \cdot 6,6$ $= 15,18 \text{ м}^2$	$1793,3 - 427,6$	$1,4 \cdot 0,075$ $\cdot 0,85 = 0,09$	$0,09 \cdot \frac{22,5^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 1,4$
		$\frac{4 \cdot 15,18}{2} = 22,5$		
Поворот на 75° диффузор	$F_1 = 4,7 \cdot 5,7$ $= 26,8 \text{ м}^2$ $F_2 = 3 \cdot 10,106$ $= 30,3 \text{ м}^2$	$1793,3 - 427,6$	$1,8 \cdot 0,32 \cdot 0,9$ $\cdot 1,06 = 0,55$	$0,55 \cdot \frac{25,5^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 11,1$
		$\frac{2 \cdot 26,6}{2} = 25,5$		
Поворот на 75°	$F = 3 \cdot 10,106$ $= 30,3 \text{ м}^2$	$1793,3 - 427,6$	$0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,86$ $= 0,387$	$0,387 \cdot \frac{21,9^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 5,8$
		$\frac{2 \cdot 30,3}{2} = 21,9$		
Два поворота на 30°	$F = 3 \cdot 7,5$ $= 22,5 \text{ м}^2$	$1793,3 - 427,6$	$1,4 \cdot 0,15 \cdot 0,86$ $= 0,18$	$2 \cdot 0,18 \cdot \frac{27,8^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 8,6$
		$\frac{2 \cdot 22,5}{2} = 22,5$		
Сопротивление трения V-го участка	$F = 2,3 \cdot 6,6$ $= 15,18 \text{ м}^2$ $L = 54 \text{ м}$		$\frac{0,02 \cdot 54}{3,41}$ $= 0,32$	$0,32 \cdot \frac{22,5^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 5$
		22,5		
Суммарное сопротивление V- го участка				40,3
Сопло Вентури				15
Два поворота на 30°	$F = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{7,5} = 23,1$	$1,4 \cdot 0,15 \cdot 0,97$ $= 0,204$	$2 \cdot 0,204 \cdot \frac{23,1^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 6,7$
Поворот на 90°	$F = 2,4 \cdot 3 = 7,2 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{7,2} = 24$	$0,22 \cdot 0,95$ $= 0,21$	$0,21 \cdot \frac{24^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 3,7$
Клапан 2700x2400	$F = 2,7 \cdot 2,4$ $= 6,48 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{6,48} = 26,7$	0,1	$0,1 \cdot \frac{26,7^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 2,2$
Поворот - диффузор на 90°	$F_1 = 2,4 \cdot 2,7$ $= 6,48 \text{ м}^2$ $F_2 = 2,7 \cdot 2,7$ $= 7,29 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{6,48} = 26,7$	$1,8 \cdot 0,5 \cdot 0,96$ $= 0,86$	$0,86 \cdot \frac{26,7^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 19$
Поворот на 90°	$F = 2,7 \cdot 2,4$ $= 6,48 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{6,48} = 26,7$	$1,04 \cdot 0,6$ $= 0,624$	$0,624 \cdot \frac{26,7^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 13,8$
Короб раздающий воздух по 4-м горелкам	$F = 2,1 \cdot 1,178 \cdot 4$ $= 9,9 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{9,9} = 17,5$	2,3	$2,3 \cdot \frac{17,5^2}{2}$ $\cdot 0,062 = 21,8$

Окончание таблицы 43

Трение в каналах, подводящих воздух к 4-м горелкам	$F = 2,7 \cdot 2,4 = 6,48 \text{ м}^2$ $L = 85 \text{ м}$	$\frac{173,2}{6,48} = 26,7$	$\frac{0,02 \cdot 85}{2,54} = 0,67$	$0,67 \cdot \frac{26,7^2}{2} \cdot 0,062 = 14,8$
Вторичные каналы горелок	$F = 0,692 \text{ м}^2$	$\frac{173,2}{4 \cdot 0,692} = 62,6$	1,13	$1,13 \cdot \frac{62,6^2}{2} \cdot 0,062 = 137,2$
Суммарное сопротивление VI-го участка				234,2
Самотяга ТВП	$H = 7,8$ $\rho_1 = 0,079$ $\rho_2 = 0,119$			$h_{мен1} = 7,8 \cdot 9,8 \cdot (0,119 - 0,079) = 3,1$
Самотяга от ТВП до выхода в топку	$H = 6,5$ $\rho_1 = 0,062$ $\rho_2 = 0,119$			$h_{мен2} = 6,5 \cdot 9,8 \cdot (0,119 - 0,079) = 3,6$
Разряжение в топке на уровне горелок	$H = 47,1$			$h = 2 + 0,95 \cdot 47,1 = 46,1$
Суммарная самотяга воздушного тракта				53,4
Суммарное сопротивление воздушного тракта без учета самотяги				$\sum \Delta h_{I-VI} = 696,6$

Сумма расчетных сопротивлений напорного тракта:

$$\sum \Delta h_{\text{н}} = \sum \Delta h_{I-VI} - \sum \Delta h_{\text{вс}} \quad (92)$$

$$\sum \Delta h_{\text{н}} = 696,6 - 63,2 = 633,4 \text{ мм. в. ст}$$

Эффективное барометрическое давление:

$$h_{\text{эф}} = h_{\text{бар}} + \frac{\sum \Delta h_n}{2 \cdot 13,6} \quad (93)$$

$$h_{\text{эф}} = 735 + \frac{633,4}{2 \cdot 13,6} = 735 + 23,3 = 758,3 \text{ мм. в. ст}$$

Перепад полных давлений воздушного тракта:

$$\Delta H_n = \sum \Delta h_n \cdot \frac{760}{h_{\text{эф}}} - h_c - h \quad (94)$$

$$\Delta H_n = 696,6 \cdot \frac{760}{758,3} - 53,4 = 644,8 \text{ мм. в. ст}$$

Таблица 44 – Исходные данные для выбора дутьевого вентилятора

Наименование	Формула	Расчет
Часовая производительность; $Q, \frac{м^3}{ч}$.	$\frac{V_c \cdot 3600 \cdot 760}{2 \cdot \left(h_{\text{бар}} - \frac{\beta_2 \cdot \Delta h_{\text{вс}}}{13,6} \right)}$	$\frac{750,5 \cdot 3600 \cdot 760}{2 \cdot \left(735 - \frac{1,2 \cdot 63,2}{13,6} \right)} = 1407,5$
Полный напор ΔH_n ; мм. в. ст	ΔH_n	644,8
Часовая производительность с запасом 10% и 5%, $Q_p, \frac{м^3}{ч}$.	$1,1 \cdot Q$ $1,05 \cdot Q$	$1,1 \cdot 1407,5 \cdot 10^3 = 1548,3 \cdot 10^3$ $1,05 \cdot 1407,5 \cdot 10^3 = 1478 \cdot 10^3$
Полный напор с запасом 20% и 10%; H_p ; мм.в.ст	$1,2 \cdot \Delta H_n$ $1,1 \cdot \Delta H_n$	$1,2 \cdot 644,8 = 773,8$ $1,1 \cdot 644,8 = 709,3$
Коэффициент приведения к условиям характеристики, K_p	$\frac{273 + t}{273 + t_{\text{хар}}} \cdot \frac{760}{h_{\text{бар}} - \frac{\beta_2 \cdot \Delta h_{\text{вс}}}{13,6}}$	$\frac{273 + 40}{273 + 30} \cdot \frac{760}{735 - \frac{1,2 \cdot 63,2}{13,6}} = 1,01$
Приведенный напор ΔH_n^{np} и H_n^{np} ; мм.в.ст	$K_p \cdot \Delta H_n$ $K_p \cdot \Delta H_p$	694 763,2 832,8
КПД на рабочем режиме; η , %	η	86,6 $n = 745 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
Расчетная мощность электродвигателя с запасом 5%; N , кВт	$1,05 \cdot \frac{Q_p \cdot H_p}{3670 \cdot \eta}$	$1,05 \cdot \frac{1478 \cdot 10^3 \cdot 709,3}{3670 \cdot 86,6} = 346 \cdot 10^3$

Результаты показывают, что изменение дутьевых вентилятора типа ВДН-36х2Э не требуется, которые обеспечивают максимальный запас по производительности – 5%, по напору – 10%, $n = 745 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

5 Гидравлический расчет

5.1 Гидравлический расчет заводской ШПП-2

Таблица 45 – Расчет ШПП-2

Наименование величины	Обозначение	Формула	Величина
Внутренний диаметр, м	$d_{вн}$		0,02
Количество параллельно включенных трубок в одной ширме, шт	$n_{ш}$		16
Длина трубы ШПП-2, м	$l_{шпрм}$		45,5
Углы гибов труб	$\alpha_1^{шпрм}, \alpha_2^{шпрм}$		90, 90
Коэффициенты сопротивления поворотов в ШПП-2	$\xi_1^{шпрм}, \xi_2^{шпрм}$		1,75 1,75
Суммарный коэффициент сопротивления поворотов в ШПП-2	$\Sigma \xi_{пов}^{шпрм}$	$\xi_1^{шпрм} + \xi_2^{шпрм}$	3,5
Приведенный коэффициент трения для труб ШПП-2	$\lambda_0^{шпрм}$		0,7
Средняя температур пара в ШПП-2	$t_{ср}$	$\frac{t'_{ш2} - t''_{ш2}}{2}$	449,94
Удельный объем пара, м ³ /кг	v_n		0,0081
Плотность пара, кг/м ³	ρ''		122,6
Средняя скорость пара в ширмах, м/с	W_n	$\frac{D_{nn} \cdot v_n}{f_n}$	16,146
Количество ширм по ширине газохода, шт	z_1		76
Площадь живого сечения для прохода пара, м ²	f_n	$\frac{\pi \cdot (d_{вн})^2}{4} z_1 \cdot n_{ш}$	0,382
Гидравлическое сопротивление ШПП-2, бар	$\Delta P_{шпрм2}$	$(\lambda_0^{шпрм} l_{шпрм} + \Sigma \xi_{пов}^{шпрм}) \cdot \frac{W_n^2 \rho'}{2}$	5,65

5.2 Гидравлический расчет проектной ШПП-2L

Таблица 46 – Расчет ШПП-2L

Наименование величины	Обозначение	Формула	Величина
Внутренний диаметр, м	$d_{вн}$		0,02
Количество параллельно включенных трубок в одной ширме, шт	$n_{ш}$		16
Длина трубы ШПП-2L, м	$l_{шпрм}$		55
Углы гибов труб	$\alpha_1^{шпрм}, \alpha_2^{шпрм}, \alpha_3^{шпрм}, \alpha_4^{шпрм}$		90, 90, 90, 90
Коэффициенты сопротивления поворотов в ШПП-2L	$\xi_1^{шпрм}, \xi_2^{шпрм}, \xi_3^{шпрм}, \xi_4^{шпрм}$		1,75 1,75 1,75 1,75
Суммарный коэффициент сопротивления поворотов в ШПП-2L	$\Sigma \xi_{пов}^{шпрм}$	$\xi_1^{шпрм} + \xi_2^{шпрм}$	7
Приведенный коэффициент трения для труб ШПП-2L	$\lambda_0^{шпрм}$		0,7
Средняя температур пара в ШПП-2L	$t_{ср}$	$\frac{t'_{ш2} - t''_{ш2}}{2}$	432,4
Удельный объем пара, м ³ /кг	v_n		0,0073
Плотность пара, кг/м ³	ρ''		137,24
Средняя скорость пара в ширмах, м/с	W_n	$\frac{D_{nn} \cdot v_n}{f_n}$	14,55
Количество ширм по ширине газохода, шт	z_1		76
Площадь живого сечения для прохода пара, м ²	f_n	$\frac{\pi \cdot (d_{вн})^2}{4} z_1 \cdot n_{ш}$	0,382
Гидравлическое сопротивление ШПП-2L, бар	$\Delta P_{шпрм2L}$	$(\lambda_0^{шпрм} l_{шпрм} + \Sigma \xi_{пов}^{шпрм}) \cdot \frac{W_n^2 \rho'}{2}$	6,61

Из гидравлического расчета ШПП-2 и ШПП-2L можно сделать вывод, что замена ПН–1500–350–4 не потребуется, т.к изменение напора равно $\Delta P_{шпрм2L} - \Delta P_{шпрм2} = 0,96$ бари не повлияет на общую работу котлоагрегата.

6 Обдувочные аппараты

Наряду с реконструкцией ширм предложена новая схема расположения обдувочных аппаратов для очистки полурадационных поверхностей нагрева (рисунок 24) с одновременным совершенствованием конструкции и режимных параметров работы обдувочных аппаратов.

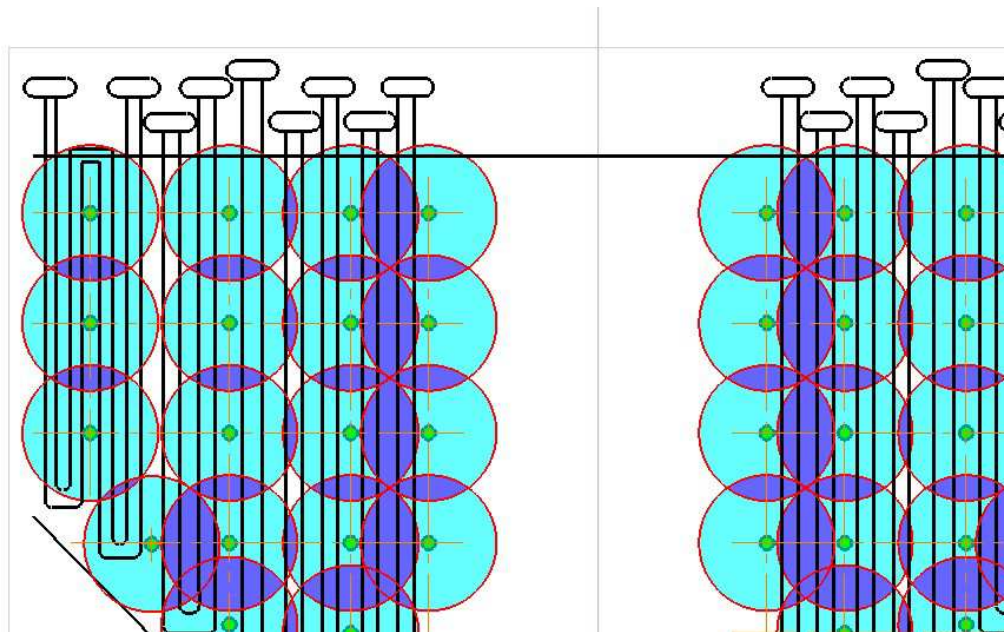


Рисунок 24 – Расчетные зоны очистки ширм котла П-67

Усовершенствованная конструкция глубоководных обдувочных аппаратов ОГ-12 для выполнения паровой обдувки реализована в виде двух основных модификаций 221ЭОБ080 и 221ЭОБ081, причем последняя модификация, отличается меньшим диаметром обдувочной трубы, однобалочной схемой и в большей мере приближается к известному аппарату PS-SL фирмы «Clayde Bergemann».

Особенностью усовершенствованной конструкции обдувочного аппарата ОГ-12 является то, что возвратно-поступательное и вращательное перемещение обдувочной трубы осуществляется одним мотор-редуктором, что сокращает количество исполнительных элементов, упрощает схему управления и обслуживания, повышает надежность; использование совместно с мотор редуктором реечной передачи вместо цепной

обеспечивает повышенную плавность перемещения и надежность; оснащение мотор-редуктора предохранительной кулачковой муфтой позволяет осуществить блокировку от перегрузок мотор-редуктора и аварийный возврат обдувочной трубы в исходное положение; применение фазового сдвига обдувочной трубы при реверсе повышает эффективность очистки плотных конвективных поверхностей нагрева; клапан, обдувочная труба, сопловая головка и суппорт узла уплотнения изготовлены из жаропрочной нержавеющей стали; однобалочная схема исполнения и боковое расположение клапана позволяет сократить расстояние между аппаратами при размещении их на котлах в стесненной компоновке по схеме «один над другим»; меньшая установленная мощность. Основные технические характеристики аппарата ОГ-12: давление обдувочного агента (пар, воздух) – 1,3-4,0 МПа; температура пара – 300- 450 °С; частота вращения сопловой головки – 20 об/мин; шаг винтового движения сопловой головки – 60 мм/об; количество сопел – 2 шт.; диаметр сопел – 16-20 мм; наружный диаметр сопловой головки – 89 мм; условный проход присоединительного фланца – 50 мм; температура дымовых газов в зоне обдувки – до 1100 °С.

Многолетний опыт эксплуатации котла П-67 показал, что отложения на ширмах растут по направлению крутки газов (рисунок 25).

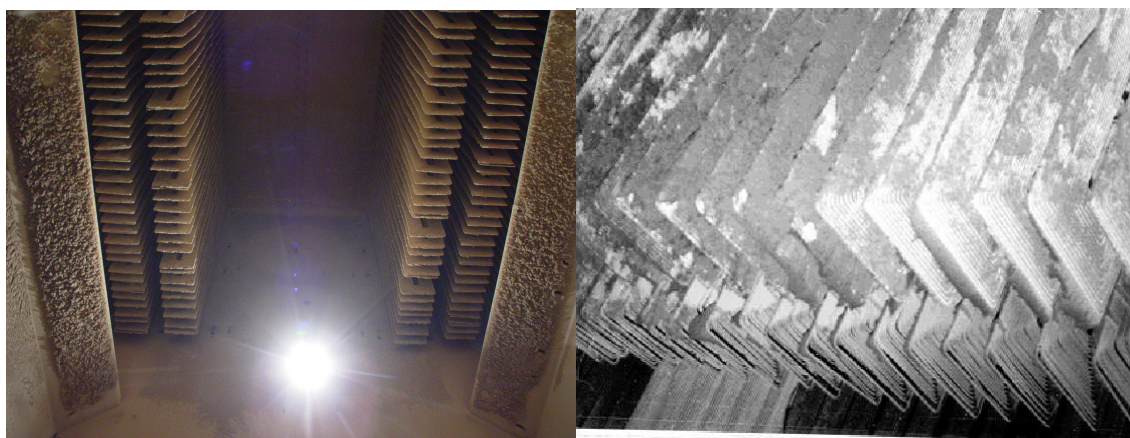


Рисунок 25 – Состояние ширм горизонтального газохода

Пушечная обдувка не допускает образования глыб, а глубоковыдвижные аппараты ОГ-12 дают заметный прирост коэффициента тепловой эффективности ширм на выходе из топки (рисунок 26).

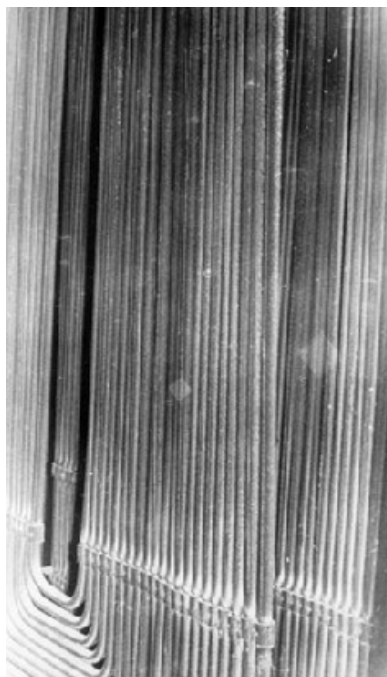


Рисунок 26 – ШПП-3

7 Система технической диагностики шлакования поверхностей нагрева

Определение значений температурного напора и фактического тепловосприятия поверхности нагрева ($Q_{\text{факт}}$, кДж/кг) осуществляется путем решения системы нелинейных балансовых уравнений при известных температурах теплоносителей, участвующих в теплообмене, как на входе, так и на выходе из каждой анализируемой поверхности, измеряемых системой штатного контроля котла. Для примера на (рисунок 27) представлена измерительная схема для оценки эффективности теплообмена поверхностей нагрева на примере котла П-67 Березовской ГРЭС.

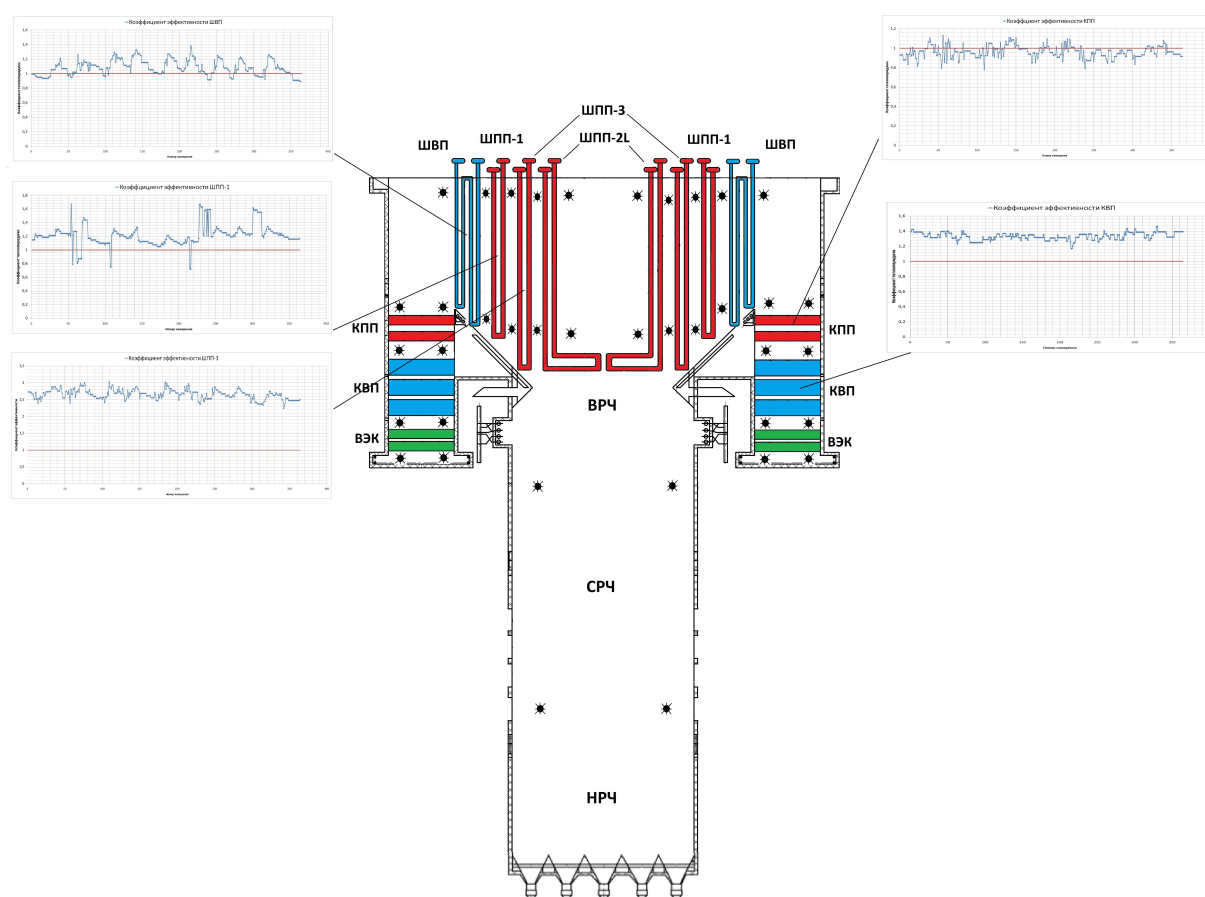


Рисунок 27 – Схема измерений для определения коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева для котла П-67 Березовской ГРЭС.

Особенностью методики и алгоритма оценки коэффициента теплопередачи для чистой поверхности нагрева (K , кВт/(м² · °С)) является

его нахождение с учетом реальных эксплуатационных параметров работы котла, определяемых в режиме реального времени и характеристик сжигаемого топлива.

В качестве исходных данных используются режимные характеристики штатного контроля котлов, которые установлены на поверхностях нагрева ШВП, КПП, КВП, ШШП-1, ШПП-2, ШПП-3.

Для мониторинга коэффициента теплопередачи поверхностей НРЧ, СРЧ, ВРЧ, ВЭК требуется дополнительное оснащение котла измерительными приборами в газовом и пароводяном тракте.

8 Экономический расчет

8.1 Экономия топлива в результате мероприятий по уменьшению шлакования котла

В процессе эксплуатации на поверхностях нагрева скапливаются остаточные загрязнения из-за несовершенства обдувки, это приводит к постепенному снижению коэффициенту тепловой эффективности, что в свою очередь приводит к увеличению расхода топлива.

На рисунке 28 прослеживается динамика снижения коэффициента тепловой эффективности поверхностей нагрева. Учитывая реальную температуру уходящих газов, выполним расчет теплового баланса и расхода топлива. Расчет приведен в таблице 47

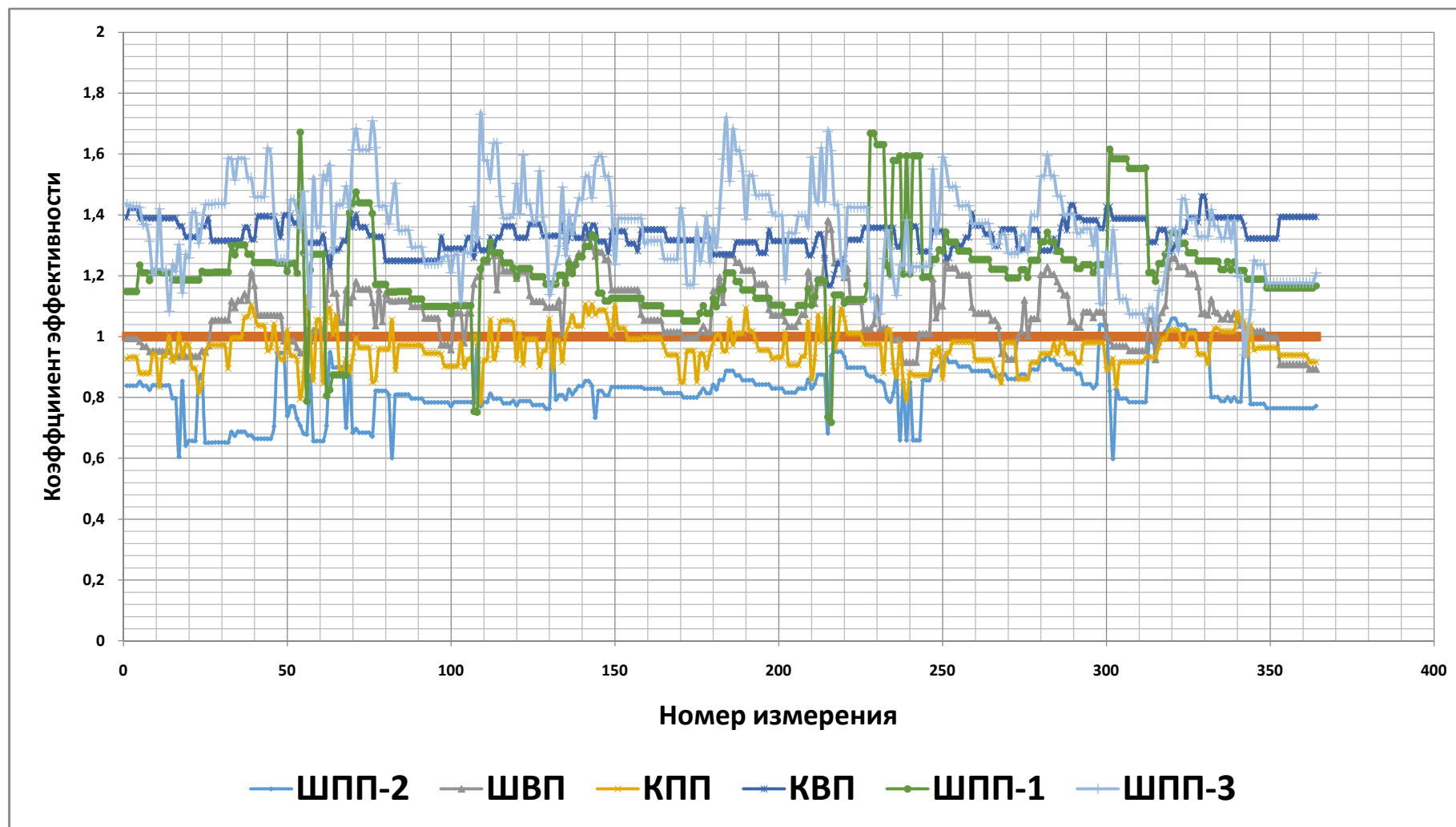


Рисунок 28 - Реальные коэффициенты эффективности всех поверхностей нагрева котла П-67

Таблица 47 – Тепловой баланс и расход топлива

Наименование	Обозначение	Сейчас	После реконструкции
Потери тепла, %:			
С уходящими газами	q_2	8,169	7,045
С химическим недожогом	q_3	0	0
С механическим недожогом	q_4	0,5	0,5
В окружающую среду	q_5	0,2	0,2
С теплом шлака	q_6	0,0084	0,0084
КПД котла, %	$\eta_{ка}^{бр}$	0,912	0,922
Расход топлива, т/ч:			
полный	B	498,46	492,39
расчетный	B_p	495,97	489,92
Уменьшение расхода топлива, т/ч	ΔB	6,07	

8.2 Расчет капитальных вложений

Капитальные вложения по проекту реконструкции определяются на основании сметной стоимости конструктивных работ по разделам: стоимость работ, стоимость материалов

Таблица 48 – Затраты на реконструкцию

Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество единиц	Стоимость единицы, руб	Стоимость общая, руб
Работы				
Монтаж ШПП-2L	т	258	15 700,0	4050 600,0
Гидравлическое испытание	-	-	459 192	459 192,0
Водохимическая очистка	-	-	217 574,0	217 574,0
Материалы				
Сталь 12X1МФ, 32х6	т	258	153 000,0	39 474 000,0
ОГ-12	шт	12	2 600 000	31 200 000
ТермопараА-106 (-40..600 °С)	шт	8	850	6 800
Итого по разделу работы				4 727 366
С коэффициентом 1,35 (коэффициент условий труда)				6 381 944
С коэффициентом 1,3 (районный коэффициент)				8 296 527

Окончание таблицы 48

Итого по разделу материалы	42 600 800
Итого по разделу материалы с учетом НДС (18%)	50 268 944
Итого по затратам	58 565 471

8.3 Расчет доходов от реализации проекта

При расчете прибыли от реализации проекта будет учитываться прибыль от экономии топлива.

Денежный поток от экономии топлива, млн.руб./год:

$$П_T = \Delta B \cdot T \cdot Ц_T \quad (95)$$

где ΔB – разница полного расхода топлива (табл. 47), т/ч;

$T = 7600$ - число работы оборудования в год с учетом затрат времени на плановый ремонт, ч/год;

$Ц_T = 430$ – цена топлива, руб./т.

$$П_T = 6,07 \cdot 7600 \cdot 430 \cdot 10^{-6} = 19,84$$

Размер амортизационных отчислений, млн.руб./год:

$$U_a = K \cdot H_a \quad (96)$$

где K - капитальные вложения, млн.руб.;

$H_a = 6,7\%$ - норма амортизации.

$$U_a = 58,565 \cdot 0,067 = 3,924$$

Денежный поток с учетом налога на прибыль, млн.руб./год:

$$П = П_T \cdot 0,8 + U_a \quad (97)$$

$$П = 19,84 \cdot 0,8 + 3,924 = 19,796$$

Далее проводим расчеты показателей экономической эффективности.

Чистый дисконтированный доход, млн.руб.:

$$ЧДД = \sum_{n=0}^{10} \frac{П}{(1 + E)^n} - K \quad (98)$$

где $E = 0,15$ - ставка дисконта;

n – порядковый номер года.

Результаты расчета срока окупаемости капитальных вложений в реконструкцию котельного агрегата П-67 Березовской ГРЭС сведены в таблицу.

Таблица 49 – Срок окупаемости капитальных вложений

Показатели	Расчетный период (год)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Денежный поток от инвестиционной деятельности, млн.руб	-58,565											
Чистый денежный поток, млн.руб.	-58,565	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720	23,720
Коэффициент дисконтирования	1	0,87	0,756	0,658	0,572	0,497	0,432	0,376	0,327	0,284	0,247	0,215
Дисконтированный денежный поток, млн.руб.	-58,565	20,636	17,932	15,608	13,567	11,788	10,247	8,918	7,756	6,736	5,858	5,099
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, млн.руб.	-58,565	-37,928	-19,996	-4,388	9,179	20,968	31,215	40,134	47,890	54,626	60,485	65,585

По результату расчета на 4-й год эксплуатации ЧДД становится больше нуля и все затраты по проекту окупаются доходами. Это значит, что данный проект инвестиций можно рекомендовать к реализации.

Выполним оценку эффективности инвестиций с учетом возможных рисков, связанных с недополучением планируемых доходов вследствие различных факторов.

Для этого проведем расчет показателей эффективности с учетом коэффициента 0,5, корректирующего денежный поток.

В таблице 50 представлены результаты расчета с учетом возможных рисков.

Таблица 50 – Срок окупаемости капитальных вложений с учетом возможных рисков

Показатели	Расчетный период (год)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Денежный поток от инвестиционной деятельности, млн.руб	-58,565											
Чистый денежный поток, млн.руб.	-58,565	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860	11,860
Коэффициент дисконтирования	1	0,87	0,756	0,658	0,572	0,497	0,432	0,376	0,327	0,284	0,247	0,215
Дисконтированный денежный поток, млн.руб.	-58,565	10,318	8,966	7,803	6,783	5,894	5,123	4,459	3,878	3,368	2,929	2,549
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, млн.руб.	-58,565	-48,246	-39,280	-31,476	-24,692	-18,798	-13,674	-9,215	-5,337	-1,969	0,960	3,510

Результаты расчета показывают, что, даже недополучив 50% планируемого дохода, проект окупается на 10-й год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломе разработан проект реконструкции Березовской ГРЭС с целью уменьшения шлакования поверхностей нагрева. Сделаны следующие мероприятия. Во-первых, замена ШПП-2 на ШПП-2L. Во-вторых, подключение ШПП-2L после ВРЧ, что дает сделать ШПП-2L «холодным пакетом». В-третьих, оснащение горизонтального газохода дополнительными аппаратами обдувки ОГ-12. В-четвертых, установка дополнительных измерительных приборов для мониторинга коэффициента теплопередачи поверхностей нагрева.

Для проверки эффективности данного проекта проведены следующие расчеты:

- тепловой расчет котлоагрегата;
- аэродинамический расчет после реконструкции;
- гидравлический расчет ШПП-2L;
- расчет очистки зоны ширм котла П-67;
- технико-экономический вариант реконструкции;

Из расчетов вариантов реконструкции видно, что самым эффективным оказался третий вариант. Данный вариант позволяет без изменения самих газоходов снизить температуру газов перед КПП $-t'_{\text{кпп}}$ на 50°C . При этом поверхность нагрева петлевых L-образных ширм на выходе из топки соответственно в 1,6 раз больше поверхности заменяемых проектных ширм.

Аэродинамический расчет котла показывает, что сопротивление газозвушного тракта при изменении геометрических размеров ШПП-2 не изменилось, т.к скорость газов в горизонтальном газоходе меньше 10 м/с, следовательно сопротивление ширмовых пароперегревателей равно 0. Величина сопротивление газового тракта $\Delta H_{\text{г}} = 477$ мм.в.ст, по воздушному $\Sigma \Delta h_{\text{г}} = 633,4$ мм.в.ст. В результате проверки убедился, что замена установленных тягодутьевых машин не требуется.

Из гидравлического расчета ШПП-2 и ШПП-2L можно сделать вывод, что замена ПН-1500-350-4 не потребуется, т.к. изменение напора равно $\Delta P_{\text{ширм2L}} - \Delta P_{\text{ширм2}} = 0,96$ бари не повлияет на общую работу котлоагрегата.

В проекте были проведены расчеты, которые позволяют сделать техническое и экономическое обоснование проекта реконструкции котлоагрегата П-67 БГРЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бойко, Е. А. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЭС) : Справочное пособие / Е. А. Бойко, К. В. Баженов, П. А. Грачев. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 152с.
- 2 Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара./ С.Л. Ривкин, А.А Александров. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
- 3 Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла) : Учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. –Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. –96с.
- 4 Липов, Ю. М-Тепловой расчет парового котла (учебное пособие для вузов). –Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 176стр
- 5 Резников, М.И. Котельные установки электростанций: учебное пособие/ Резников М.И., Липов Ю.М. ; М : Энергоатомиздат, 1987.
- 6 Тепловые и атомные электрические станции. Справочник/Под общ.ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина / М. : Энергоиздат, 1982 –624с.
- 7 Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котельных установок) : Учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. –71с.
- 8 Астраханцева, И.А. Экономическая оценка технических решений : метод. указ.подипломному проектированию для студентов специальности 1005– «Тепловые электрические станции»/ И.А. Астраханцева ; Краснояр. гос. техн. ун–т. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 1998. – 27 с.
- 9 Куликов, С.М. Расчет содержания вредных веществ в дымовых газах при проектировании котлов и энергетических установок : метод. указ. к дипломному проектированию для студентов специальностей 1005 – Тепловые электрические станции, 1007 – Промышленная теплоэнергетика/ С. М. Куликов, Е. А. Бойко ; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 1995. - 32с.
- 10 Смирнов, А. Д. Справочная книжка энергетика / А.Д. Смирнов, К.М. Антипов – М. : Энергоатомиздат, 1987.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Тепловые электрические станции

кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

подпись

Е.А. Бойко
инициалы, фамилия

13 «06» 2018г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Проект реконструкции Березовской ГРЭС

тема

Руководитель

профессор, д.т.н.
должность, ученая степень

подпись, дата

Е.А. Бойко
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А.М. Клишин
инициалы, фамилия

Тех. контроль

подпись, дата

С.А. Михайленко
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

П.В. Шишмарев
инициалы, фамилия

Красноярск 2018